

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Клочков Юрий Сергеевич  
Должность: Ректор  
Дата подписания: 30.09.2026 11:27:39  
Уникальный программный ключ:  
3beb265d5d589e7ff4c954946f3ad99a1e70ac12

МГСУ

Кафедра железобетонных и каменных конструкций

# **РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ МНОГОЭТАЖНЫХ И ВЫСОТНЫХ МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЗДАНИЙ.**

Спецкурс

Кабанцев О.В.  
профессор

Москва, 2009

## Вводная часть.

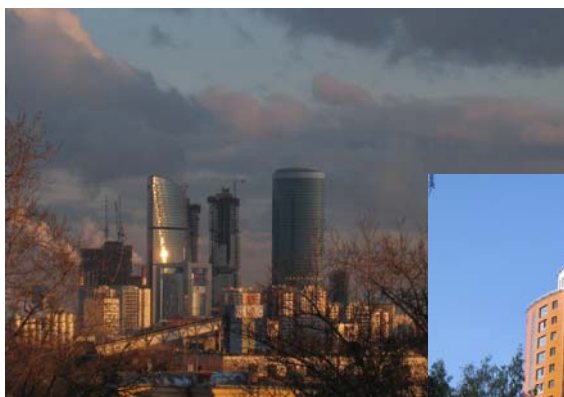
### Роль конструктора в современном проектировании зданий и сооружений.

- Традиционная функция конструктора – обеспечение прочности и устойчивости проектируемых объектов.

Современная функция конструктора:

– поиск новых надежных решений, обеспечивающих новые возможности архитектора в создании объектов;

- активное участие в формировании концепции и облика проектируемого объекта.



-Современные конструкторы:

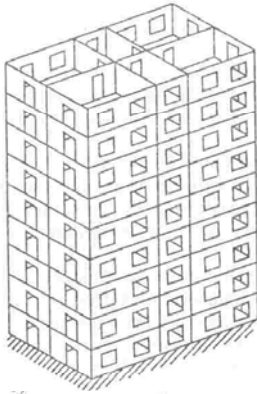
В. Травуш;  
М. Вайнштейн;  
Н. Канчели;

Н. Фостер.

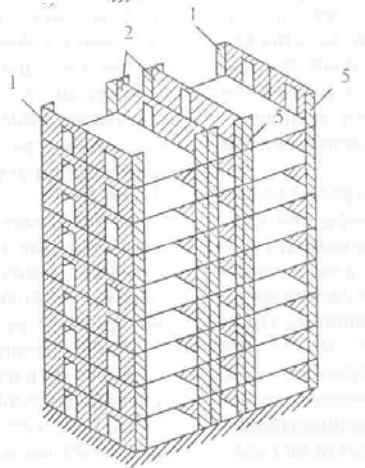


## **1.1. Конструктивные системы многоэтажных и высотных зданий.**

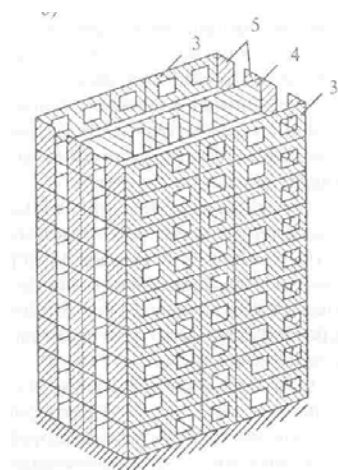
### **Стеновые несущие системы**



– системы с поперечными и продольными несущими стенами («коробчатые»).



– системы с поперечными несущими стенами



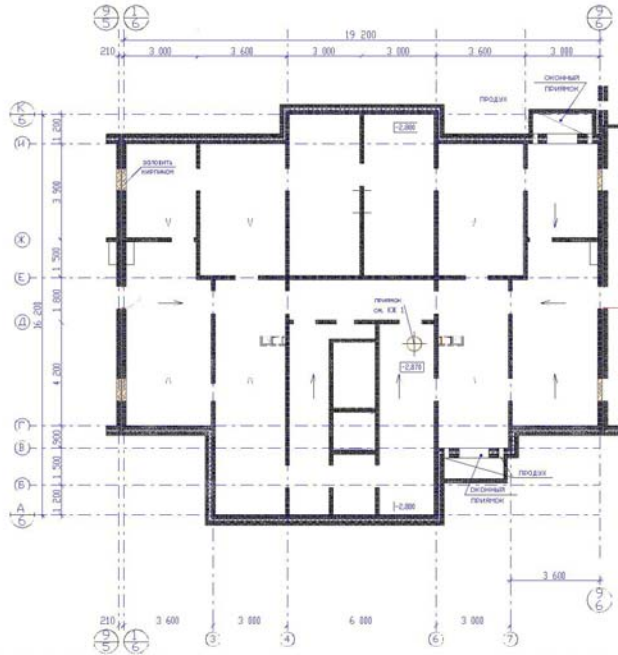
– системы с продольными несущими стенами

1,2 – наружные и внутренние поперечные стены;  
3,4 – наружные и внутренние продольные стены;  
5- участки стен, примыкающие к стенам перпендикулярного направления.

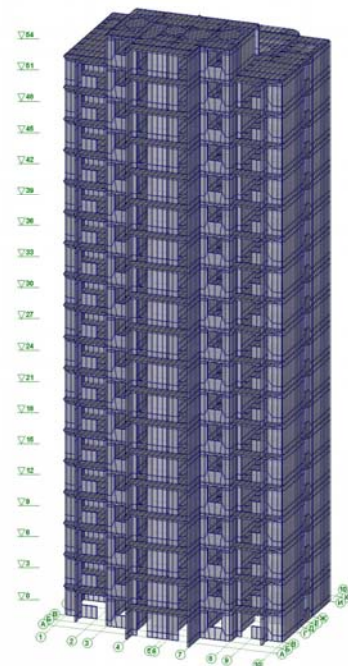
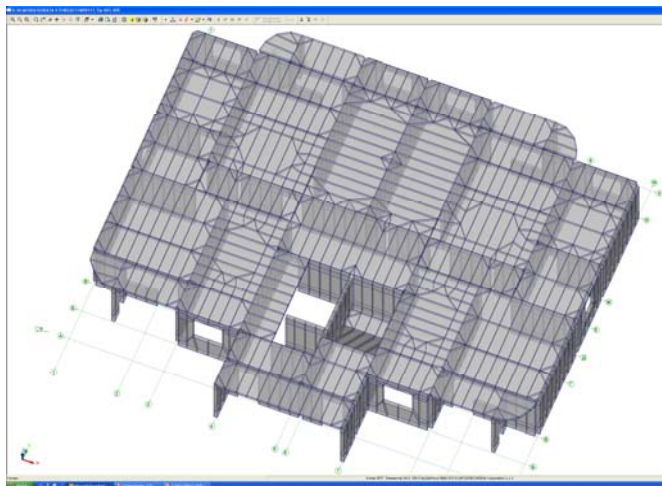
## 1.1. Конструктивные системы многоэтажных и высотных зданий.

### Стеновые несущие системы

– системы с поперечными и продольными несущими стенами («коробчатые»).



Характерный план типовой секции жилого дома с поперечными и продольными несущими стенами («коробчатая» стеновая несущая система).



Расчетная модель перекрытия типовой этажа и типовой секции жилого дома с поперечными и продольными несущими стенами («коробчатая» стеновая несущая система).



### **1.1. Конструктивные системы многоэтажных и высотных зданий.**

#### **-Рамные несущие системы**

Рамные системы с различным типом соединения узлов колонн и ригелей:

Жесткие узлы соединения колонн и ригелей;

Шарнирные узлы присоединения ригелей к колоннам;

«Полушарнирные» узлы присоединения ригелей к колоннам;

Рамно-связевые системы с различным типом узлов соединения колонн и ригелей;

Связевые системы с различным типом узлов соединения колонн и ригелей;

#### **-Основные типы конструктивных систем многоэтажных и высотных зданий с несущими конструкциями из железобетона.**

Рамно-связевые системы – основной тип конструктивных систем.

Рамно-связевые системы с ядром жесткости – массовый тип конструктивных систем.

«Коробчатые» конструктивные системы – немассовый тип несущих конструкций (велико значение показателя удельного расхода железобетона на 1м<sup>2</sup> площади здания).

Системы с жесткой «коробчатой» схемой несущих конструкций нижних ярусов – перспективный тип несущих конструкций (при малых удельных показателях расхода бетона обеспечивает высокую жесткость наиболее ответственной части здания).

Немассовые виды конструктивных систем:

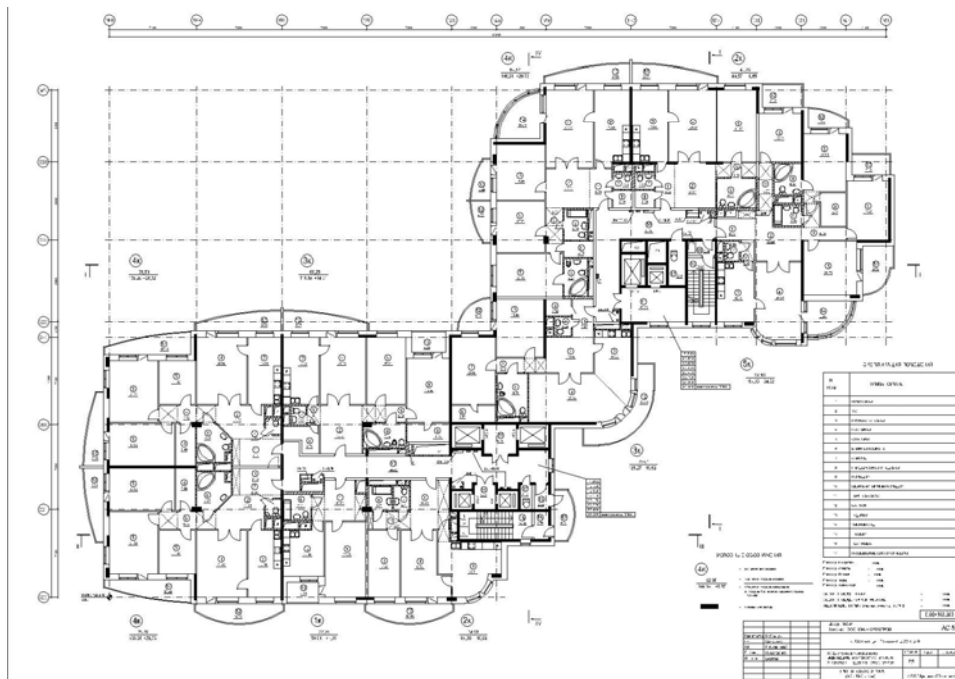
Системы с «подвешенными» этажами;

Системы с «мостовыми» конструкциями (организация большепролетных проемов в объеме здания).

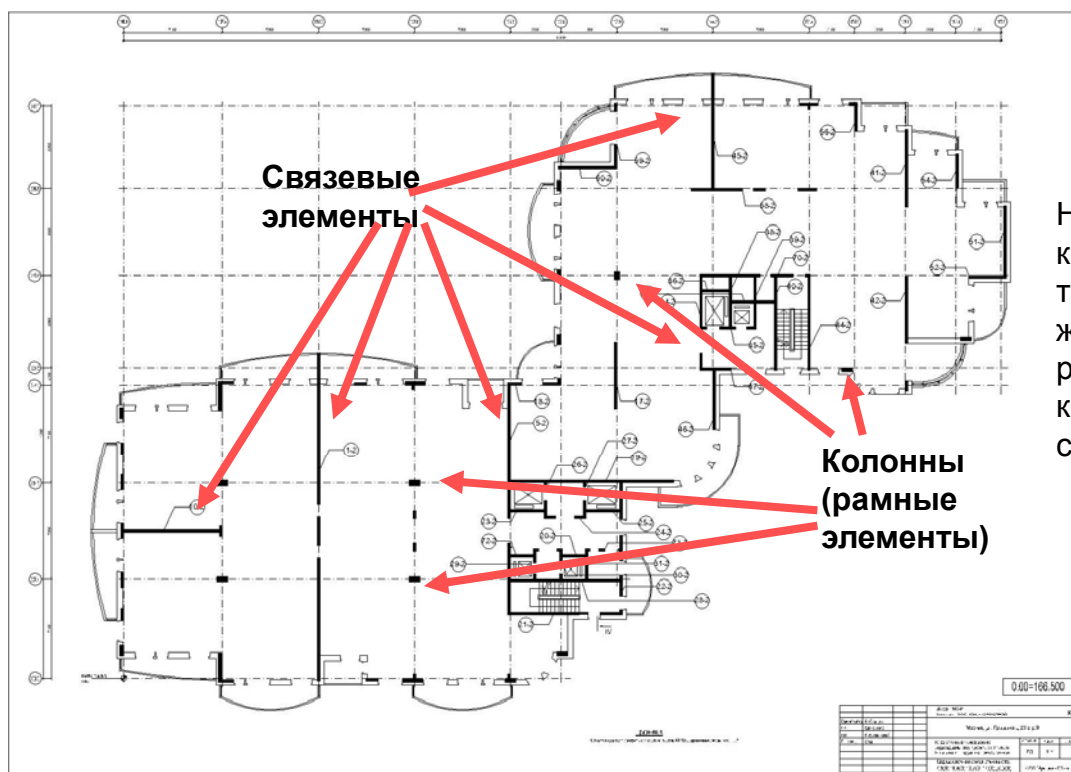
### 1.1. Конструктивные системы многоэтажных и высотных зданий.

## Основные типы конструктивных систем многоэтажных и высотных зданий с несущими конструкциями из железобетона.

Рамно-связевые системы – основной тип конструктивных систем



Характерный план типового этажа жилого дома рамно-связевой конструктивной схемы

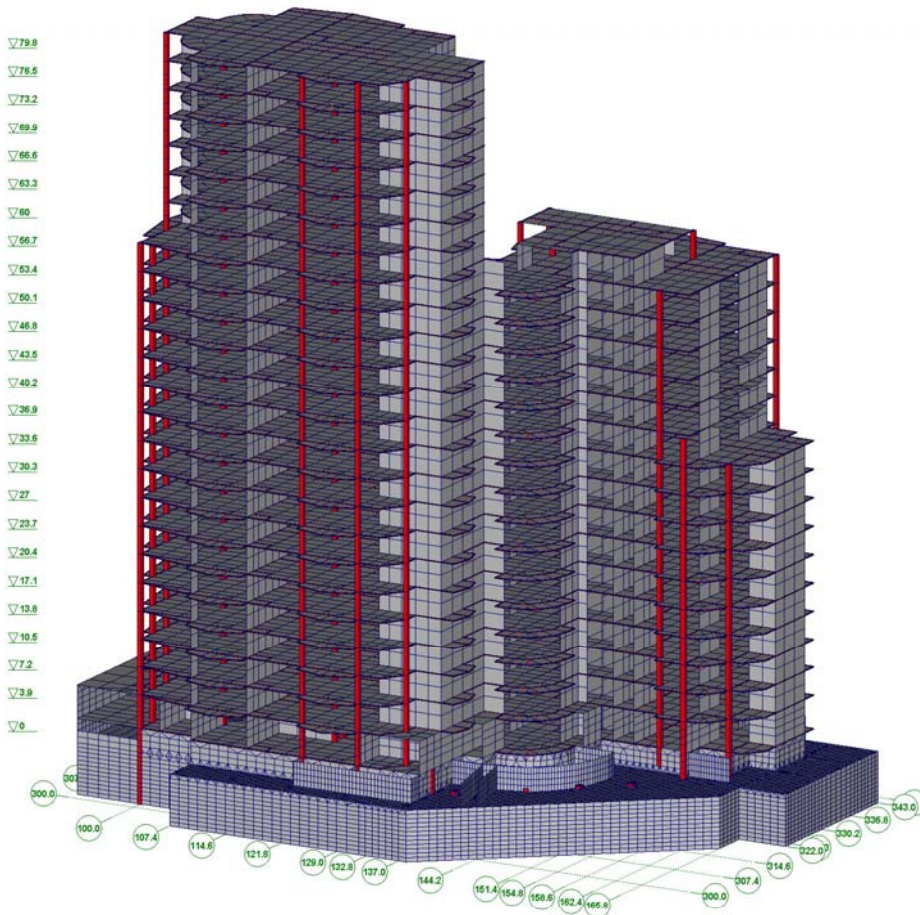


Несущие конструкции типового этажа жилого дома рамно-связевой конструктивной схемы

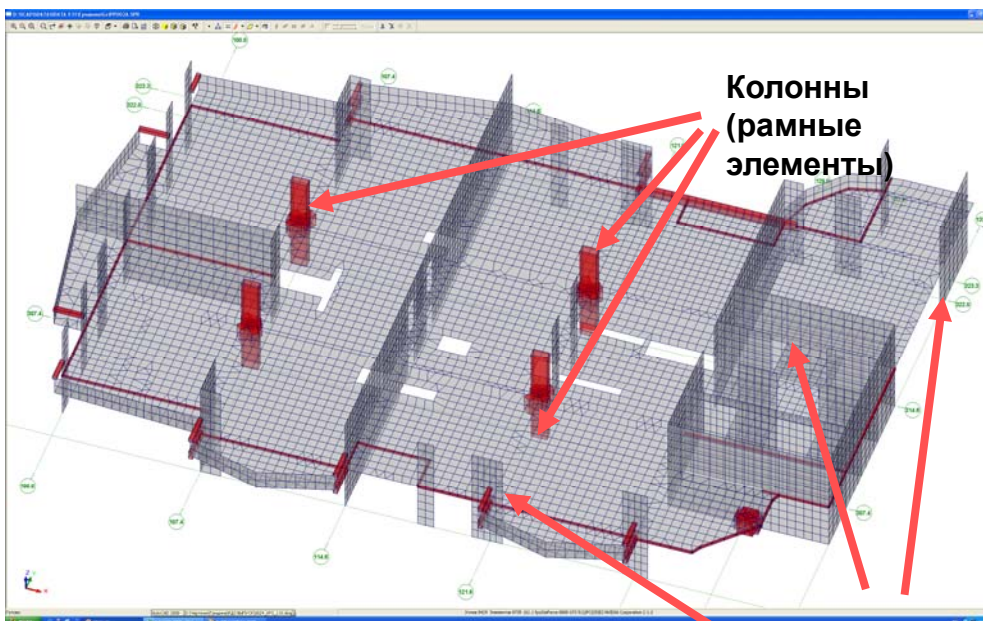
### 1.1. Конструктивные системы многоэтажных и высотных зданий.

## Основные типы конструктивных систем многоэтажных и высотных зданий с несущими конструкциями из железобетона.

Рамно-связевые системы – основной тип конструктивных систем.



Расчетная модель жилого дома рамно-связевой конструктивной схемы



Колонны (рамные элементы)

Связевые элементы

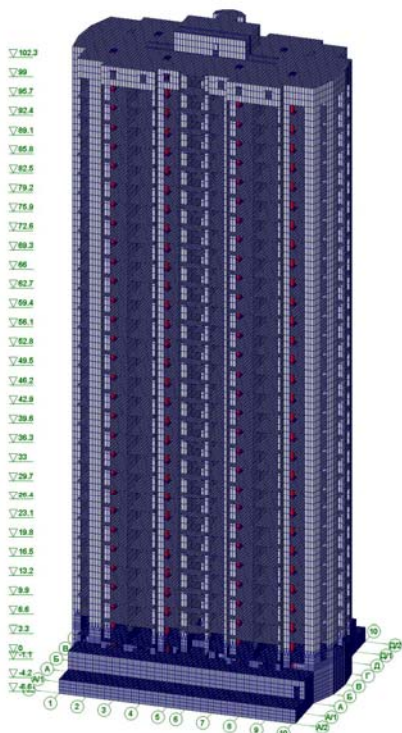
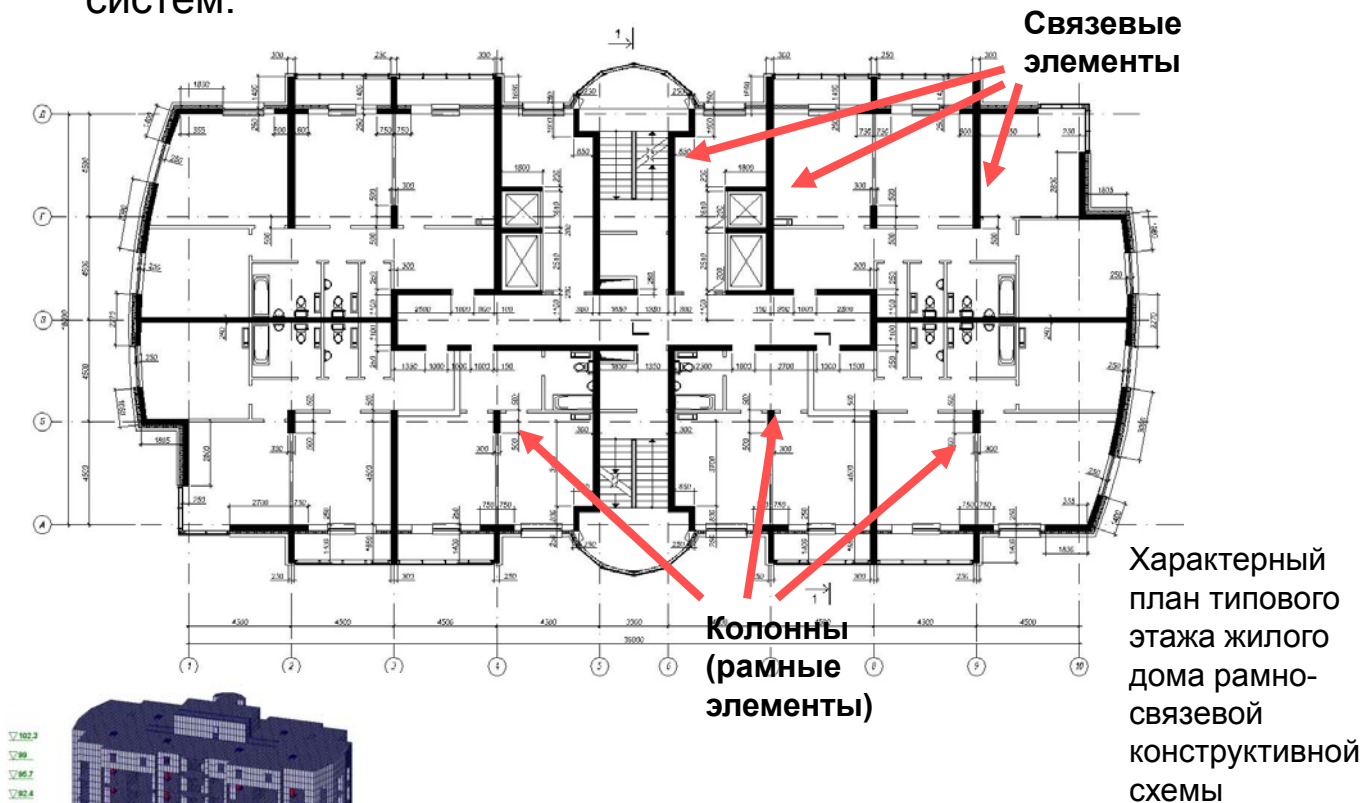
Расчетная модель типового этажа жилого дома рамно-связевой конструктивной схемы



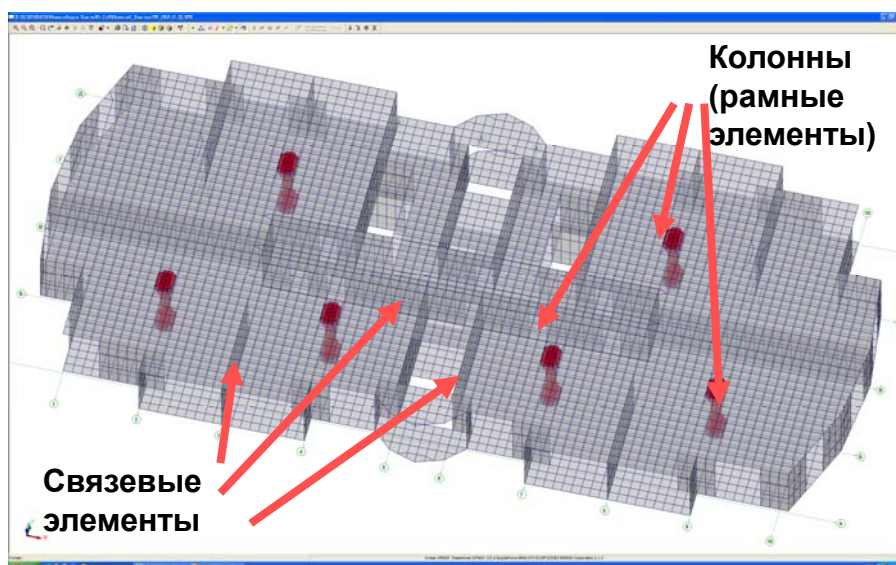
### 1.1. Конструктивные системы многоэтажных и высотных зданий.

## Основные типы конструктивных систем многоэтажных и высотных зданий с несущими конструкциями из железобетона.

Рамно-связевые системы – основной тип конструктивных систем.



Расчетная модель жилого дома рамно-связевой конструктивной схемы

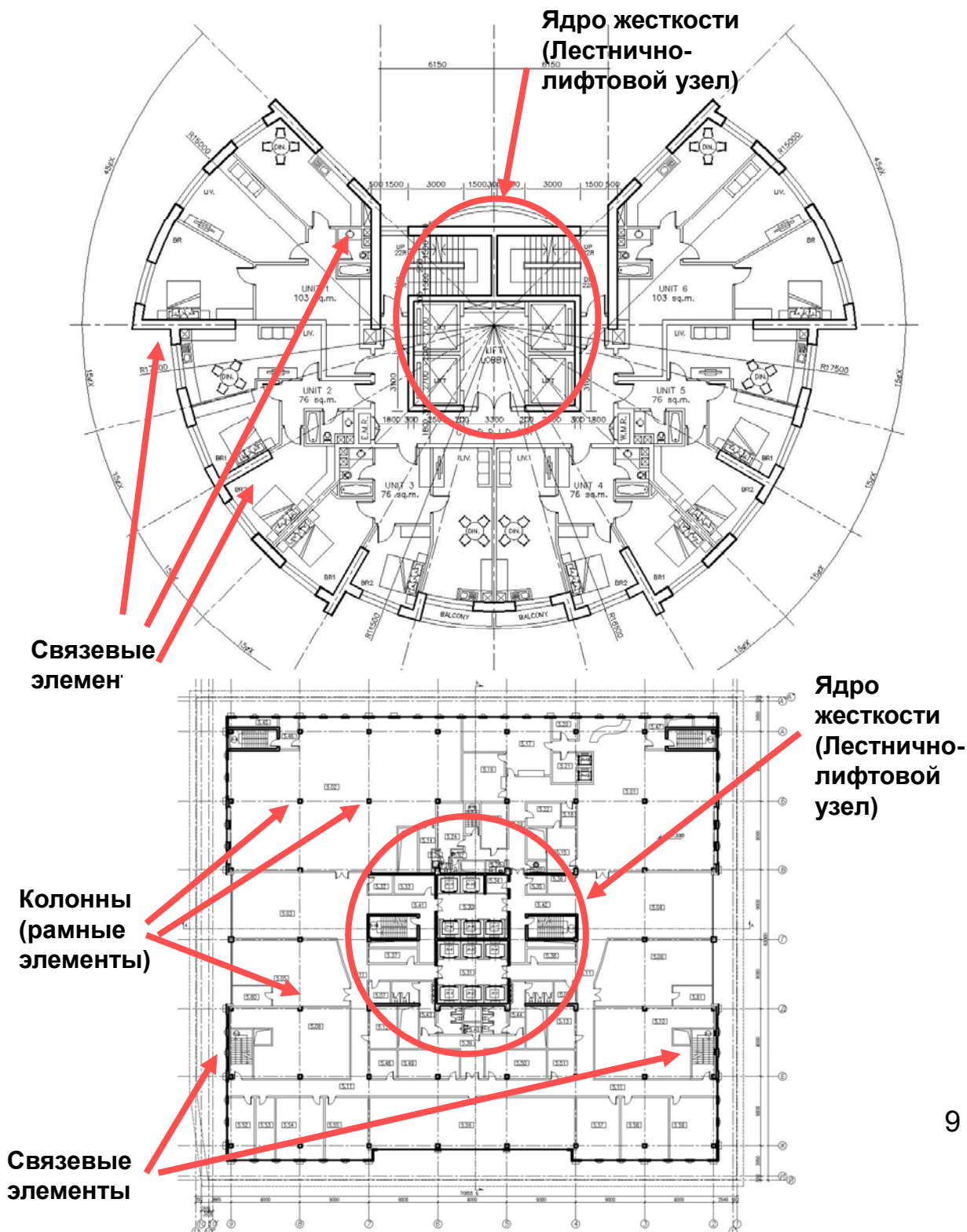


Расчетная модель типового этажа жилого дома рамно-связевой конструктивной схемы

### 1.1. Конструктивные системы многоэтажных и высотных зданий.

## Основные типы конструктивных систем многоэтажных и высотных зданий с несущими конструкциями из железобетона.

Рамно-связевые системы с ядром жесткости – массовый тип конструктивных систем.

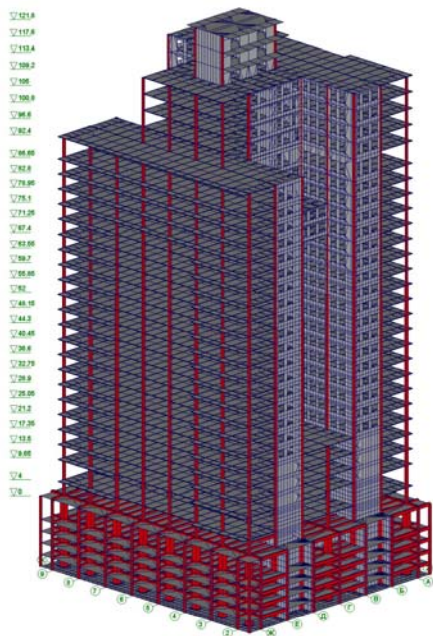




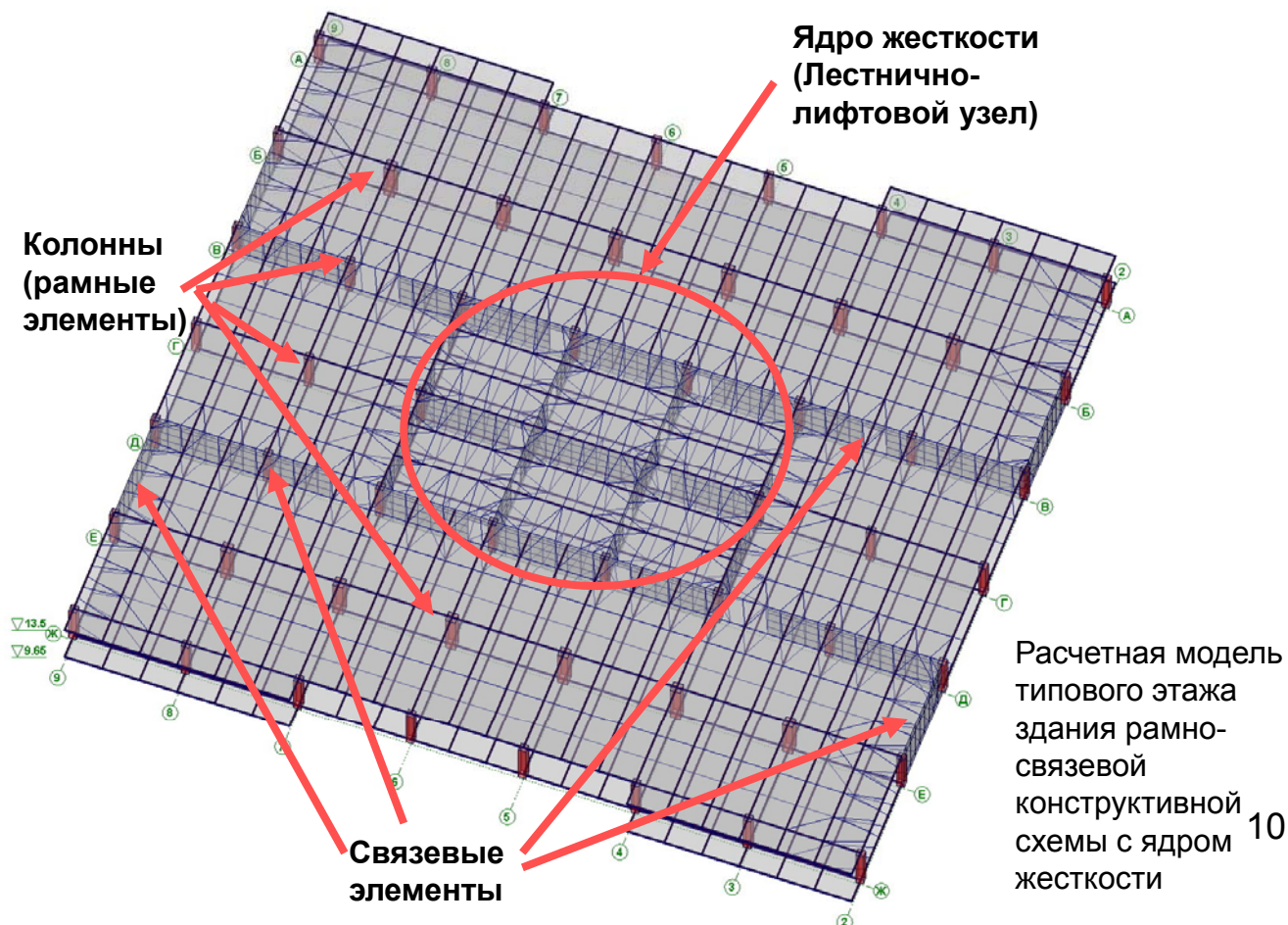
### 1.1. Конструктивные системы многоэтажных и высотных зданий.

## Основные типы конструктивных систем многоэтажных и высотных зданий с несущими конструкциями из железобетона.

Рамно-связевые системы с ядром жесткости – массовый тип конструктивных систем.



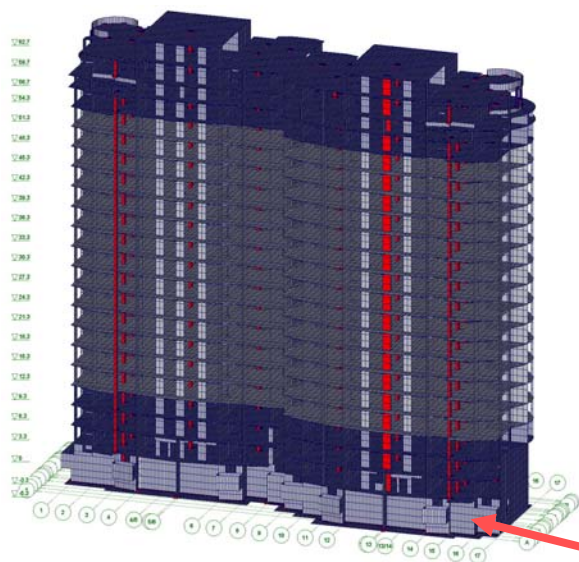
Расчетная модель здания рамно-связевой конструктивной схемы с ядром жесткости



### 1.1. Конструктивные системы многоэтажных и высотных зданий.

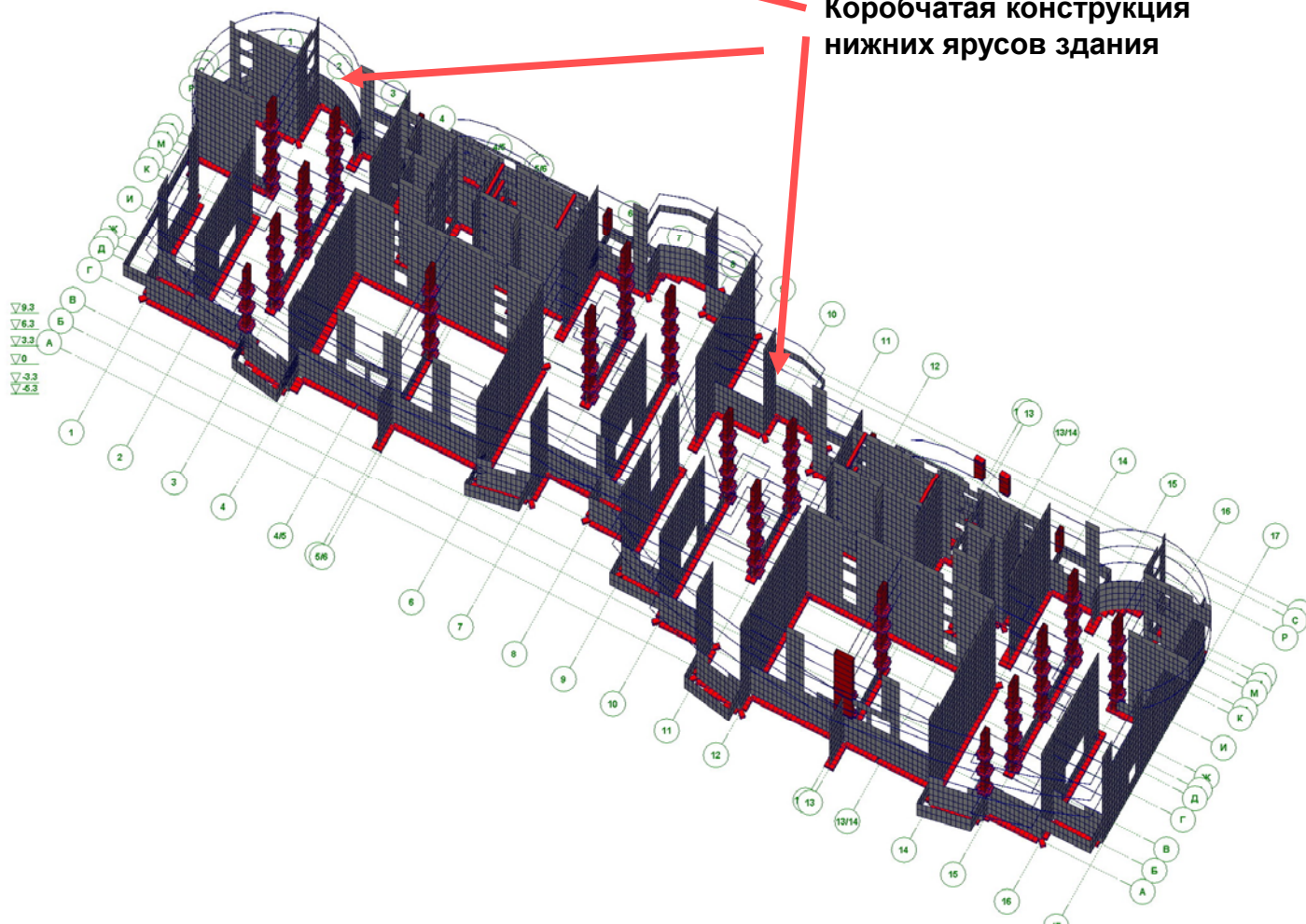
## Основные типы конструктивных систем многоэтажных и высотных зданий с несущими конструкциями из железобетона.

Рамно-связевые системы с жесткой «коробчатой» схемой несущих конструкций нижних ярусов – перспективный тип конструктивных систем.



Расчетная модель здания рамно-связевой конструктивной схемы с жесткой «коробчатой» схемой несущих конструкций нижних ярусов.

Коробчатая конструкция нижних ярусов здания

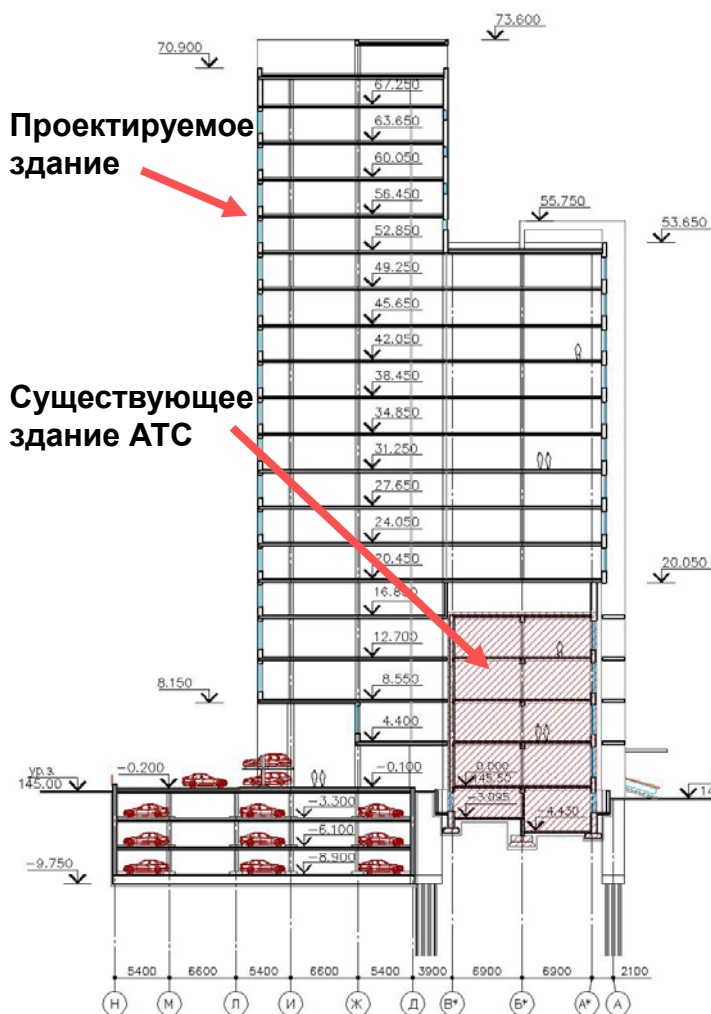




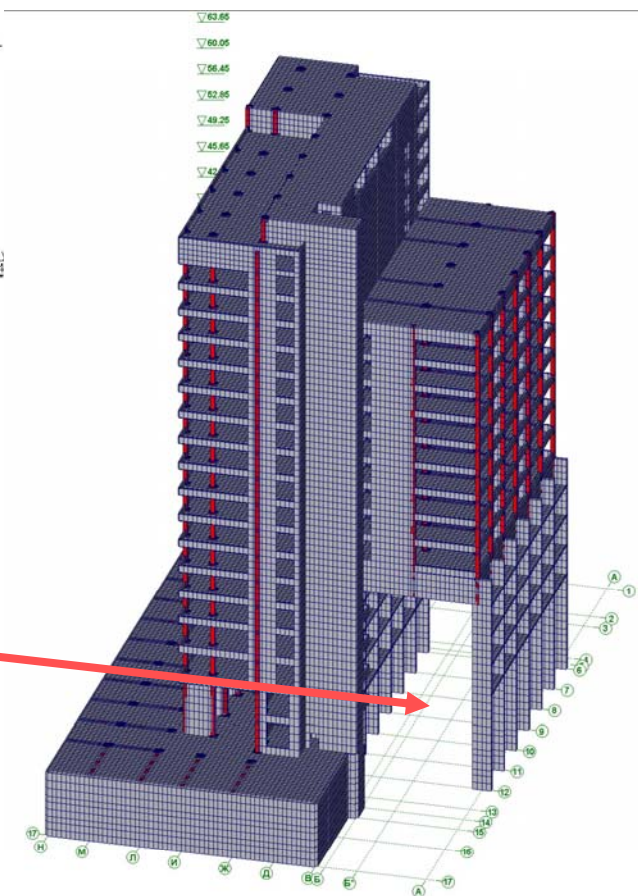
### 1.1. Конструктивные системы многоэтажных и высотных зданий.

## Основные типы конструктивных систем многоэтажных и высотных зданий с несущими конструкциями из железобетона.

Рамно-связевые системы с «подвешенными» этажами – немассовый тип конструктивных систем.



Зона существующего здания АТС.

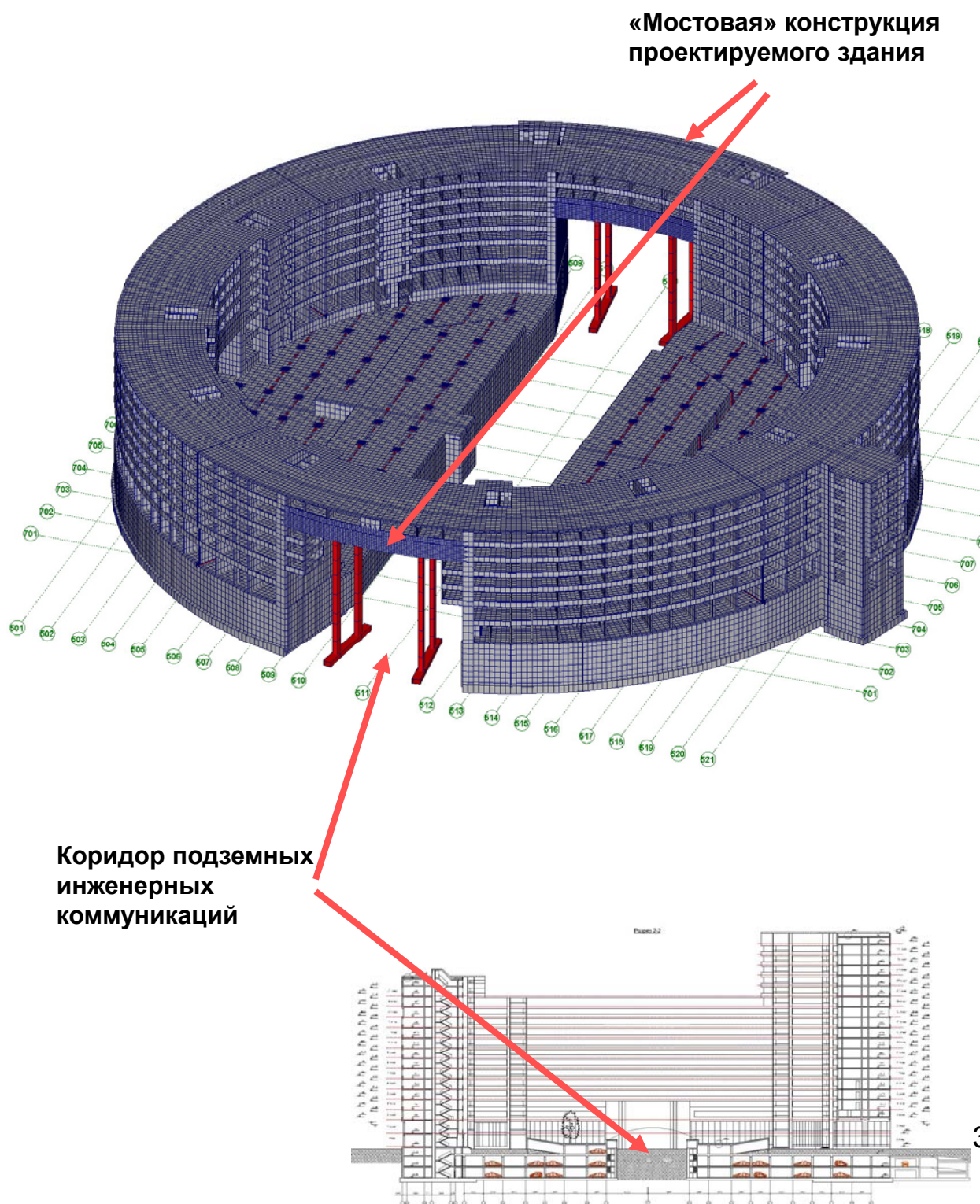


Расчетная модель здания  
рамно-связевой  
конструктивной схемы с  
«подвешенными» этажами.

### 1.1. Конструктивные системы многоэтажных и высотных зданий.

#### Основные типы конструктивных систем многоэтажных и высотных зданий с несущими конструкциями из железобетона.

Рамно-связевые системы с «мостовыми» конструкциями – немассовый тип конструктивных систем.





## **1.2. Основные требования к несущим конструкциям многоэтажных и высотных зданий.**

### **Общие требования к несущим конструкциям:**

- Уровень ответственности;
- Уровень огнестойкости;

#### **I группа предельных состояний (прочность, устойчивость):**

- 1.1. Несущая способность конструкций;
- 1.2. Несущая способность основания;
- 1.3. Устойчивость конструктивной системы в целом;
- 1.4. «Устойчивость» (сопротивляемость) конструктивной системы прогрессирующему обрушению;
- 1.5. Несущая способность конструкций при сейсмических воздействиях;
- 1.6. Несущая способность конструкций при термических (огневых) воздействиях;

#### **II группа предельных состояний (эксплуатационная пригодность - деформации, трещинообразование и т.п.):**

- 2.1. Деформации отдельных конструктивных элементов;
- 2.2. Деформации конструктивной системы в целом;
- 2.3. Ускорения конструктивной системы в целом при динамических воздействиях (ветер, транспорт и т.п.);
- 2.4. Деформации основания.

## **1.3. Основные нормативные документы:**

СНиП 2.01.07-85\* «Нагрузки и воздействия» (+10 раздел);  
СНиП 52-01-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения»;  
СП 52-101-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного натяжения арматуры»;  
СП 52-103-2007 «Железобетонные монолитные конструкции зданий»;  
СП 50-101-2004 «Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений»;  
СП 50-102-2003 «Проектирование и устройство свайных фундаментов»;  
СТО 36554501-006-2006 «Правила по обеспечению огнестойкости и огнестойкости железобетонных конструкций».  
СНиП II-7-81\* «Строительство в сейсмических районах»

## 2. Особенности монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

### Монолитные железобетонные конструкции – новая технология проектирования.

#### Сборные железобетонные конструкции:

- библиотека заранее разработанных (типовых) конструктивных элементов;
- правила применения, типовые узлы и детали;
- Проект – набор монтажных схем (колонны, перекрытия, диафрагмы жесткости и т.п.).

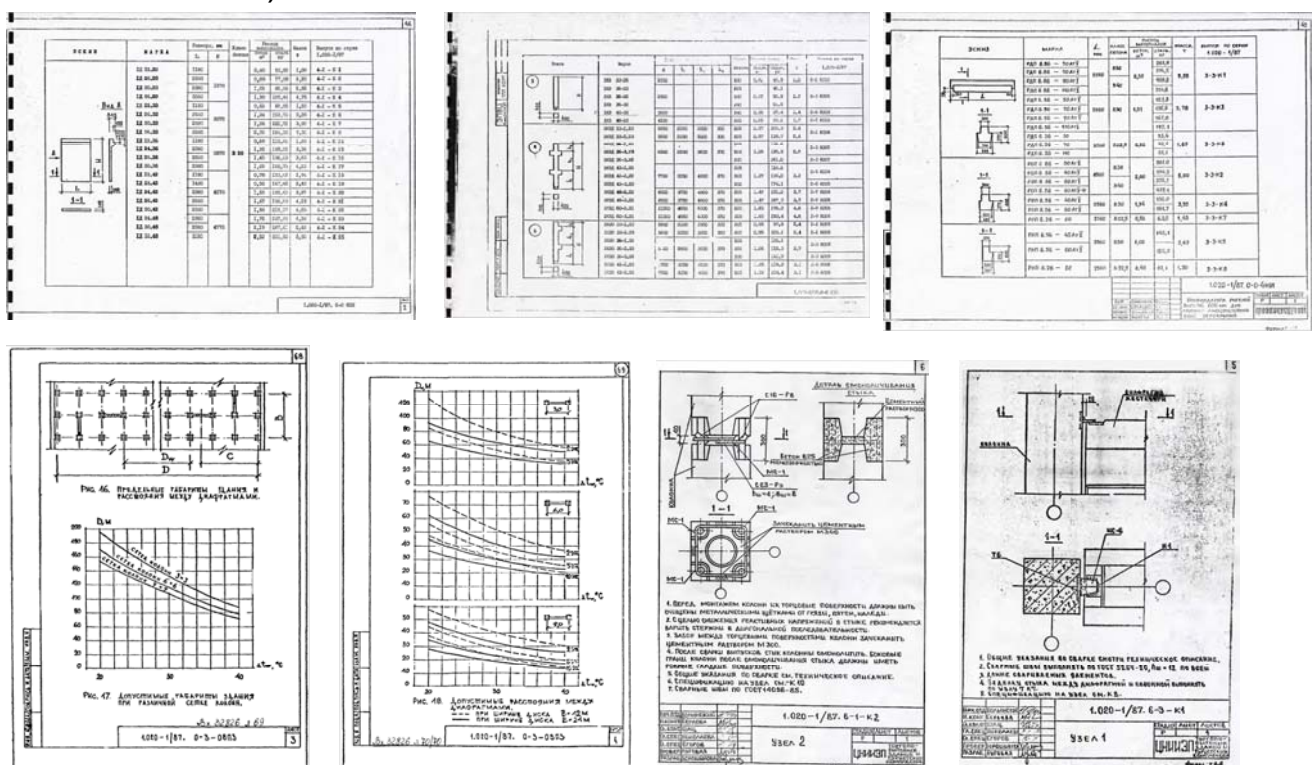


Рис. 2.1. Библиотека заранее разработанных (типовых) конструктивных элементов; правила применения, типовые узлы и детали.

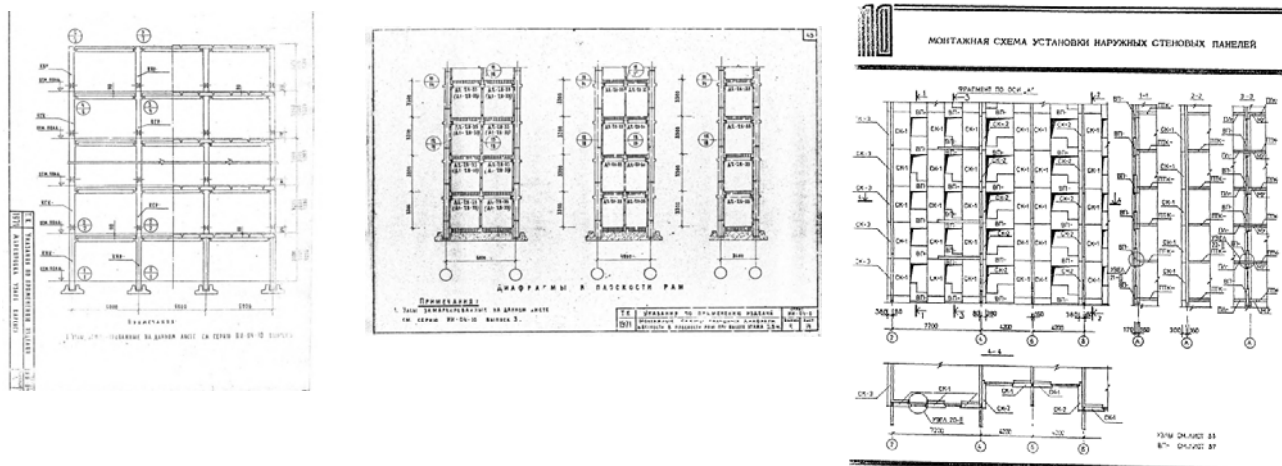


Рис. 2.2. Проект – набор монтажных схем из заранее запроектированных элементов.





## **2. Особенности монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.**

### **Сборные железобетонные конструкции:**

- балочные схемы перекрытия с частично разрезными многопролетными балками и шарнирно опертыми (разрезными) перекрытиями; известные («классические») балочные схемы распределения нагрузок и напряжений в элементах конструкции;

### **Монолитные железобетонные конструкции:**

- монопролетные (неразрезные) схемы перекрытий; нерегулярный («архитектурный») шаг вертикальных несущих конструкций; - нетривиальное распределение нагрузок и напряжений.

### **Современные требования к планировочным решениям:**

- размещение автостоянок (3 автомобиля – min 8,4 м);  
- свободные планировки жилья и соцкультбыта (помещения без определенного технологического назначения);  
- «чистые» перекрытия без выступающих конструктивных элементов.

### **Сборные железобетонные конструкции:**

- типовые пролеты для нагрузок жилья и соцкультбыта 6,0 м (большие пролеты – конструкции с предварительным напряжением арматуры);  
- «зажатые» типовыми конструкциями объемно-планировочные решения;  
- элементы несущих конструкций (ригели, капители), выступающие за плоскость перекрытия.

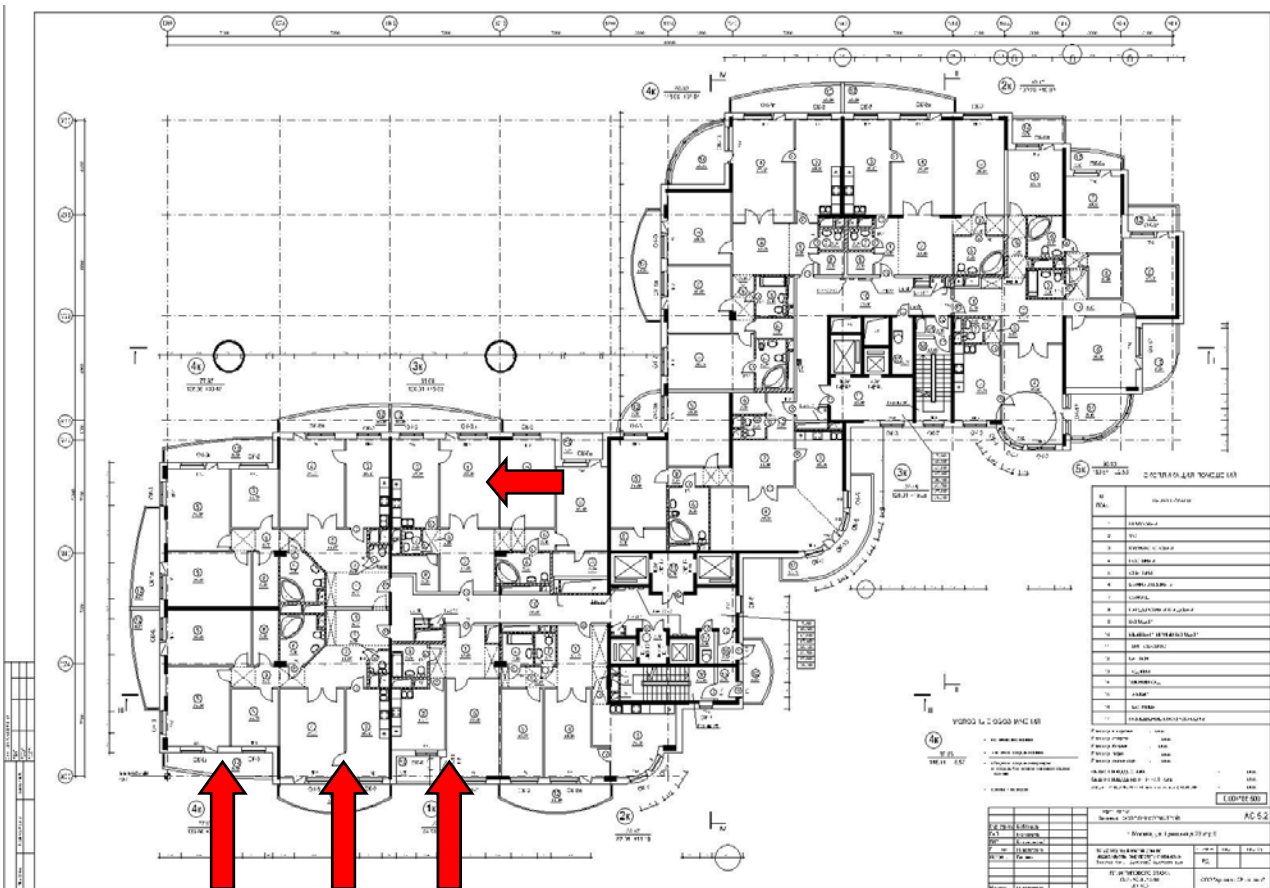
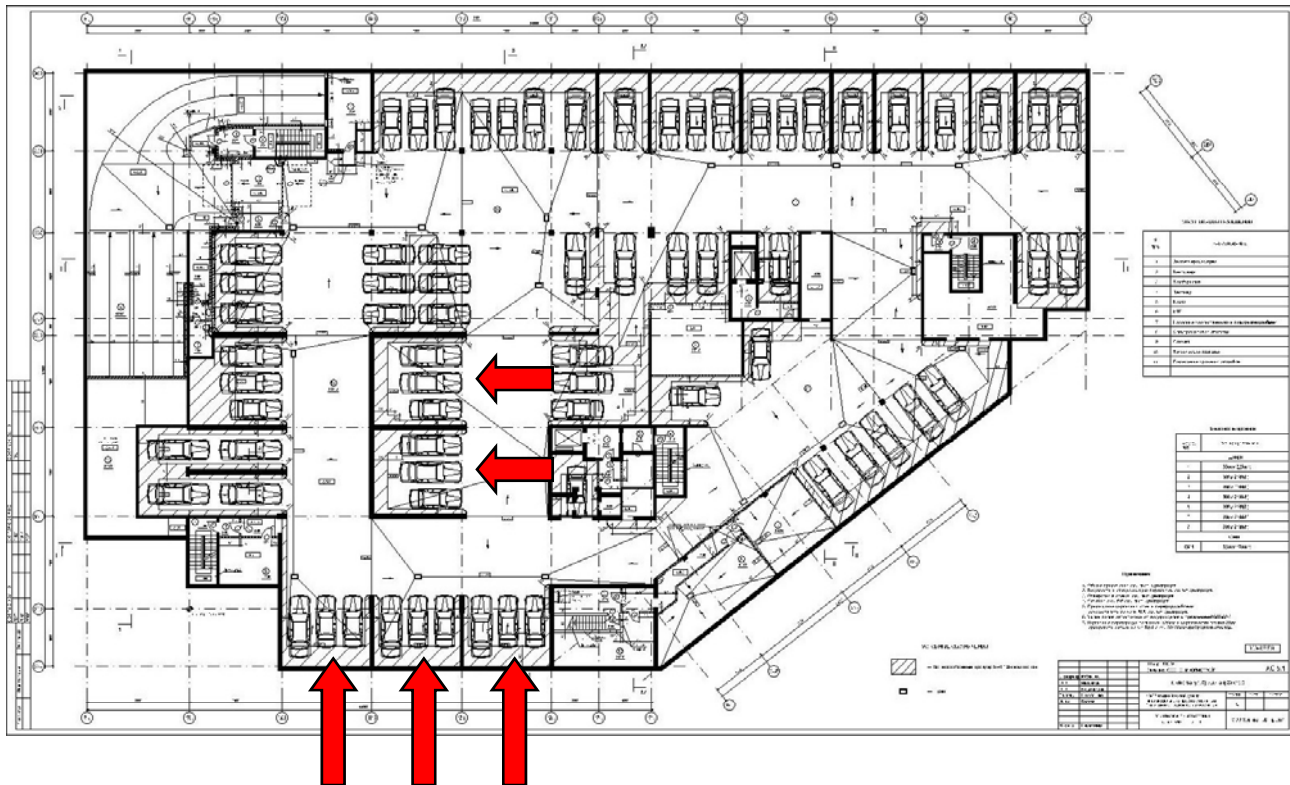
### **Монолитные железобетонные конструкции:**

- многовариантность конструктивного решения, ограничения – экономические показатели (в основном);  
- нерегулярные шаги несущих конструкций;  
- безригельные каркасы с бескапительным стыком колонны и перекрытия.



## 2. Особенности монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

Большие пролеты несущих конструкций.





## **2. Особенности монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.**

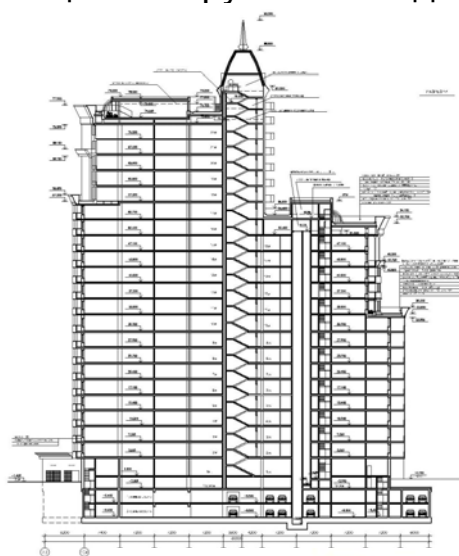
### **Большие высоты зданий.**

Причины:

- высокая стоимость земли – повышение эффективности использования участка;
- эффектные архитектурные решения.

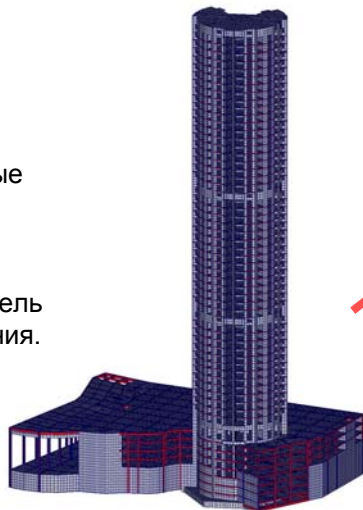
### **Последствия повышенной этажности зданий.**

- Существенное увеличение нагрузок на основание;
- Увеличение напряжений в несущих конструкциях нижних ярусов здания;
- Влияние деформируемого основания на напряженно-деформированное состояние несущих конструкций нижних ярусов;
- Новые типы фундаментов с высокой несущей способностью;
- Большие объемы заглубленных частей зданий.
- Защита от грунтовых вод.



Разрез многоэтажного монолитного железобетонного здания.

Высотные монолитные железобетонные жилые здания. Общий вид микрорайона. Расчетная модель высотного здания.



## **2. Особенности монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.**

**Большие высоты зданий.**

**Последствия повышенной этажности зданий.**

- Новые типы фундаментов с высокой несущей способностью;
- Комбинированные плитно-свайные фундаменты;
- Буровые свайные фундаменты с большим диаметром свай;



- Буроинъекционные свайные фундаменты, выполняемые по разрядно-импульсной технологии.

## 2. Особенности монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

**Большие высоты зданий.**

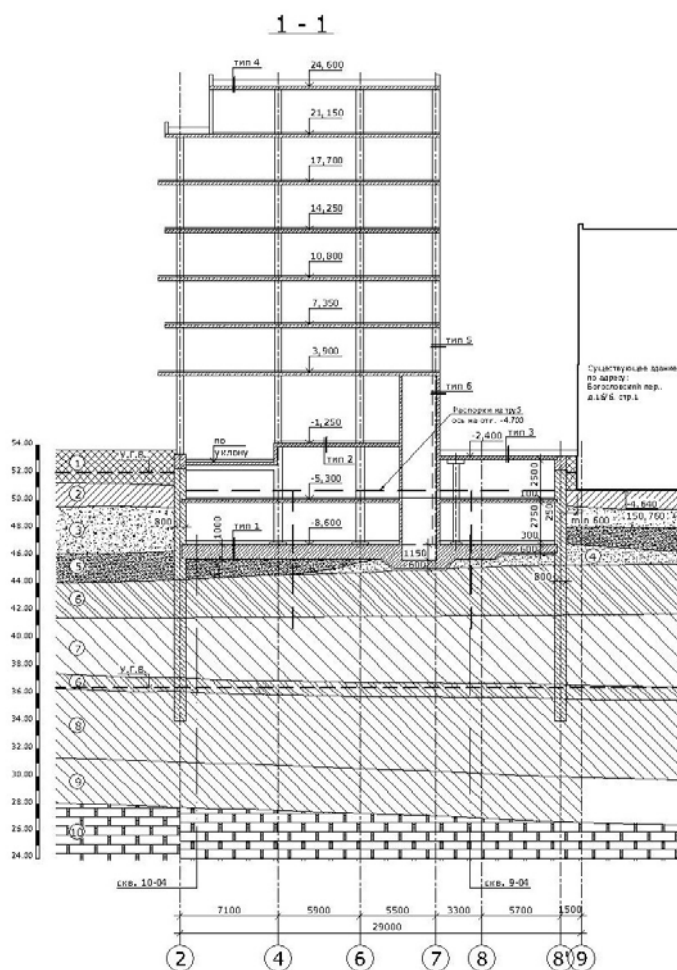
### **Последствия повышенной этажности зданий.**

- Большие объемы заглубленных частей зданий;
- Защита от грунтовых вод.

Котлован многоэтажного здания, выполненный под защитой «стены в грунте» с анкерами и распорками.



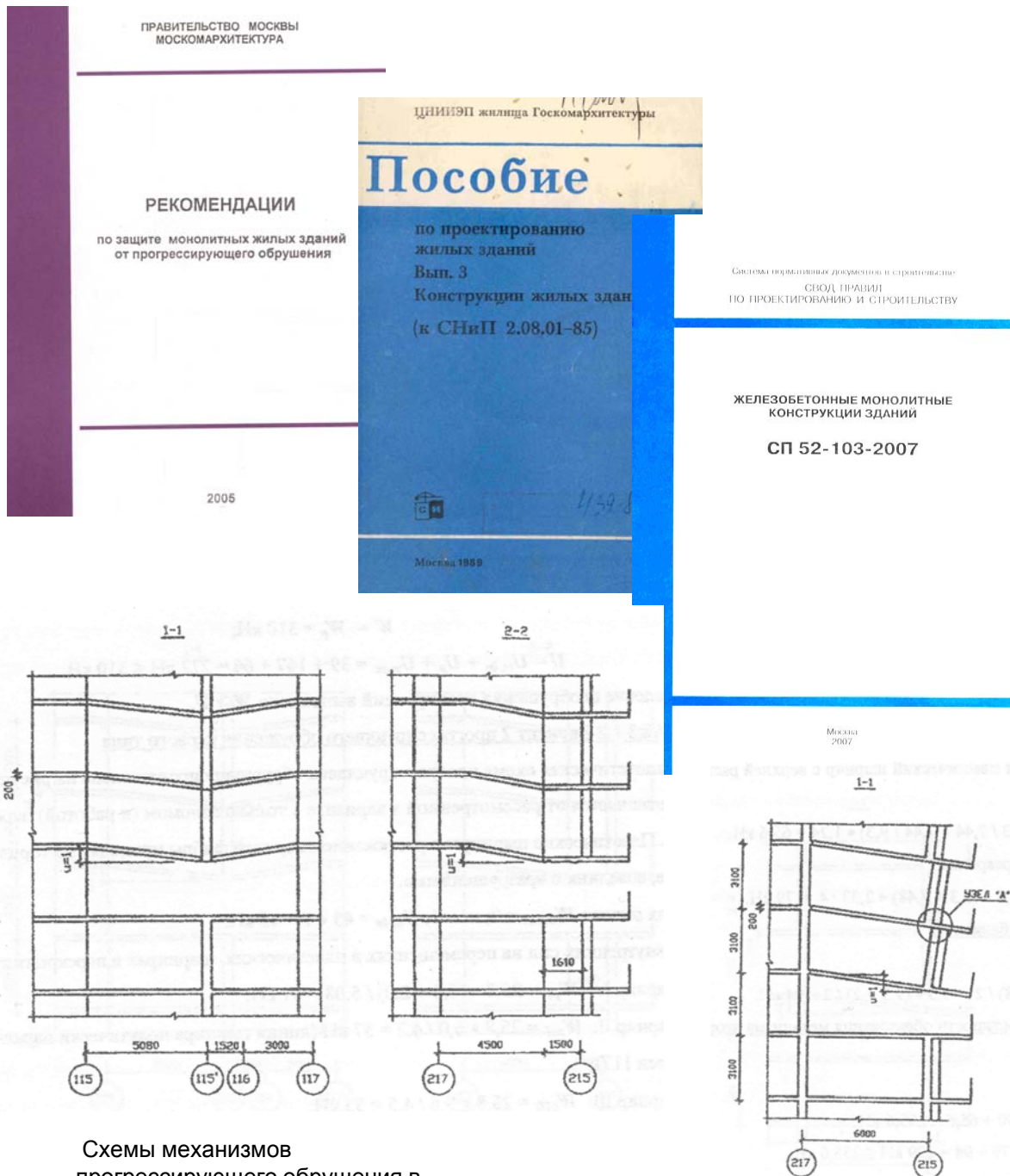
Разрез жилого здания, встроенный в геологическую схему грунтового основания с указанием уровня грунтовых вод и конструкций крепления котлована, выполняющих роль противофильтрационной завесы.





## 2. Особенности монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

### **Защита зданий от прогрессирующего обрушения. Нормативные документы.**



## **2. Особенности монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.**

Система информационных документов в строительстве  
СРОД (НАВИГ)  
ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И СТРОИТЕЛЬСТВУ

ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ МОНОЛИТНЫЕ  
КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ

СП 52-103-2007

Москва  
2007

### **Особые требования к расчетным проверкам высотных зданий.**

- Предельно допустимые ускорения при ветровых воздействиях.**
- Расчет креплений наружных ограждающих конструкций.**
- Ограничения взаимного смещения ярусов несущих конструкций, крена и относительных деформаций несущих конструкций.**
- Минимально допустимый уровень коэффициента общей устойчивости конструктивной системы.**

## **Общие принципы технологии проектирования:**

### **Эскизный проект:**

определение компоновки несущих конструкций здания;  
назначение основных несущих конструкций (колонны, стены, перекрытия, пролеты, перепады высот и проч.);

### **Проект:**

детализация общей компоновки несущих конструкций;  
Назначение величин нагрузок и воздействий;  
основные расчетные проверки,  
назначение сечений несущих конструкций и основных узлов;  
расчет оснований и выбор типа фундаментов;

### **Рабочая документация:**

назначение всех конструктивных элементов здания;  
детальные расчеты;  
рабочие чертежи.

## Общие принципы разработки проекта несущих конструкций зданий.

Исходные материалы – эскизный проект.

### Стадия «Проектная документация».

#### 1 этап:

На базе объемно-планировочных решений (раздел АР) формируется исходная схема несущих конструкций здания.

#### 2 этап:

Расчетные проверки исходных конструктивных решений.

#### 3 этап:

Корректировка исходных конструктивных решений, согласование с АР и инженерными разделами проекта.

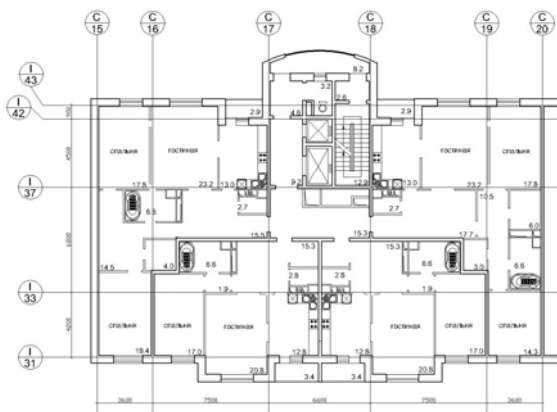
#### 4 этап:

Расчетные проверки принятых конструктивных решений.

### Формирование схемы несущих конструкций здания.

«Простые» конструктивные схемы – несущие конструкции соосны по высоте и доходят до фундаментных конструкций.

План этажа АР (исходный)



План этажа КР (стеневая схема)



Особенности конструктивного решения:

- Жесткая планировочная схема (невозможность перепланировок).
- Большие объемы железобетона в стенах (наиболее дорогостоящие конструктивные элементы).
- Железобетонные стены подвала не позволяют разместить автопарковку.



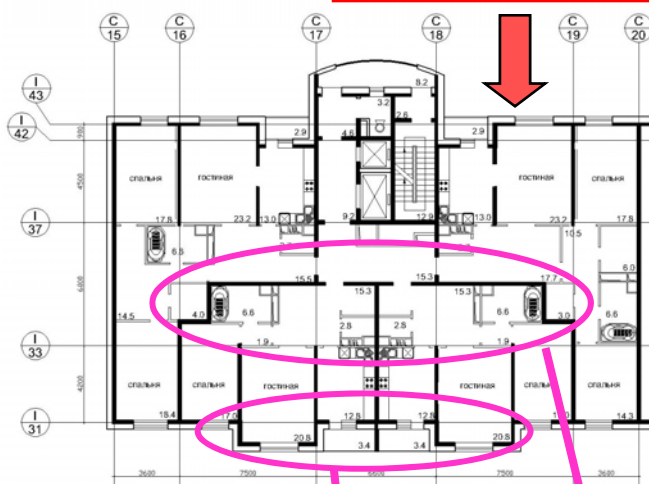
## Общие принципы разработки проекта несущих конструкций зданий.

### Формирование схемы несущих конструкций здания.

«Простые» конструктивные схемы – несущие конструкции соосны по высоте и доходят до фундаментных конструкций.

### Анализ конструктивного решения.

План типового этажа КР (стенная схема)



План подземной автопарковки + несущие конструкции



#### Особенности конструктивного решения:

Конструкции типовых этажей, доведенные до фундамента блокируют пространство подземных этажей, не позволяют разместить парковку.

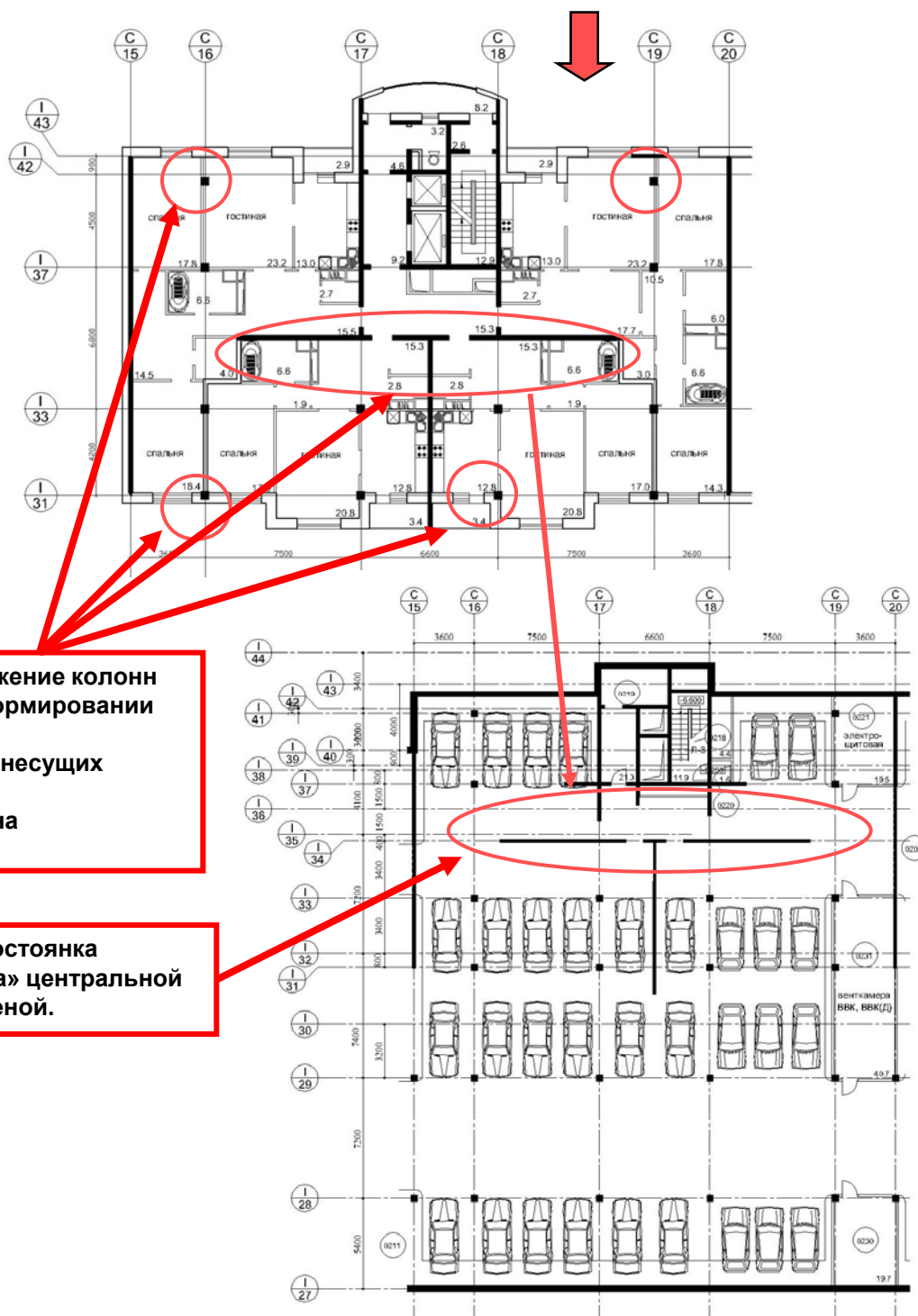
## Общие принципы разработки проекта несущих конструкций зданий.

### Формирование схемы несущих конструкций здания.

«Простые» конструктивные схемы – несущие конструкции соосны по высоте и доходят до фундаментных конструкций.

### Анализ конструктивного решения.

План типового этажа КР - безригельный каркас + стены (вариант 1)



Неудачное положение колонн – трудности в формировании интерьера.  
Большой объем несущих бетонных стен.  
Большая толщина перекрытия.

Подземная автостоянка «заблокирована» центральной продольной стеной.

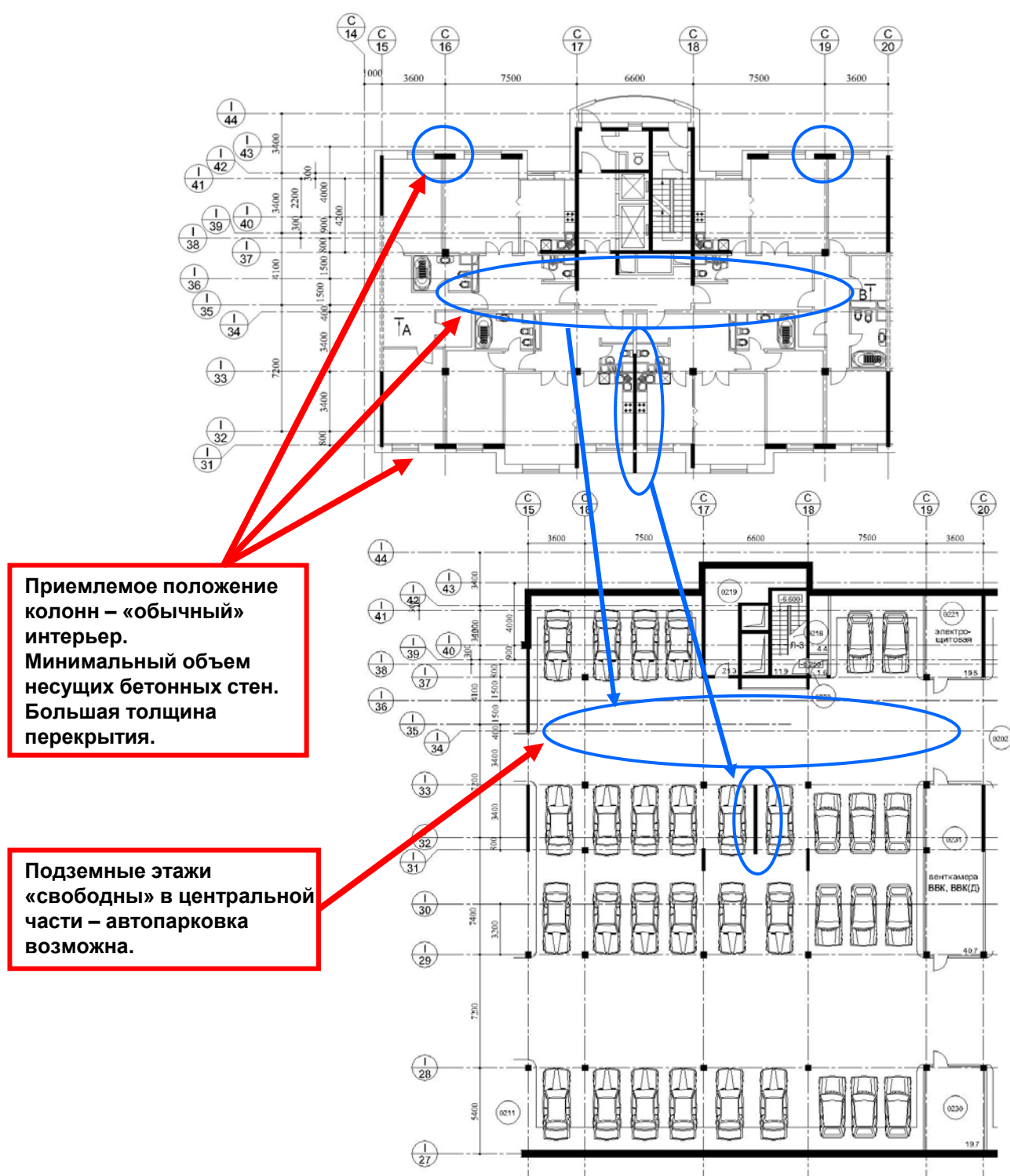
## Общие принципы разработки проекта несущих конструкций зданий.

### Формирование схемы несущих конструкций здания.

«Простые» конструктивные схемы – несущие конструкции соосны по высоте и доходят до фундаментных конструкций.

### Анализ конструктивного решения.

План типового этажа КР - безригельный каркас + стены (вариант 2)



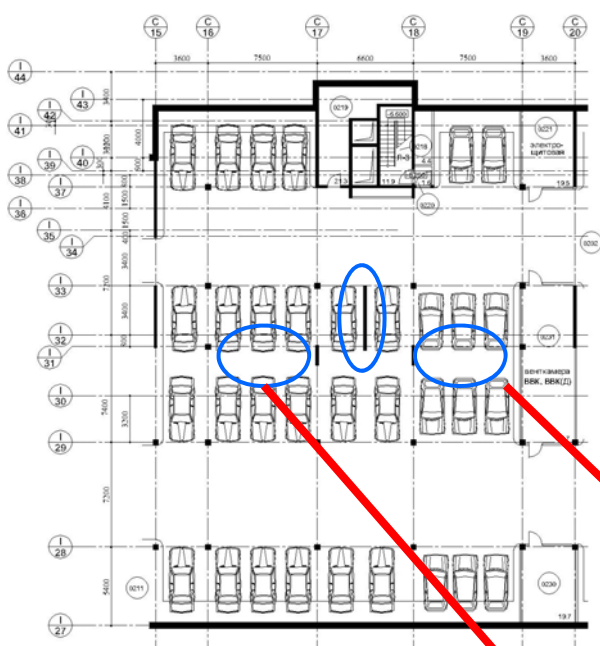
## Общие принципы разработки проекта несущих конструкций зданий.

### Формирование схемы несущих конструкций здания.

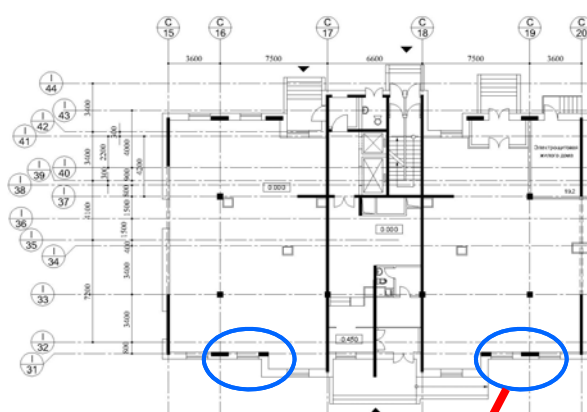
«Простые» конструктивные схемы – несущие конструкции соосны по высоте и доходят до фундаментных конструкций.

### Анализ конструктивного решения.

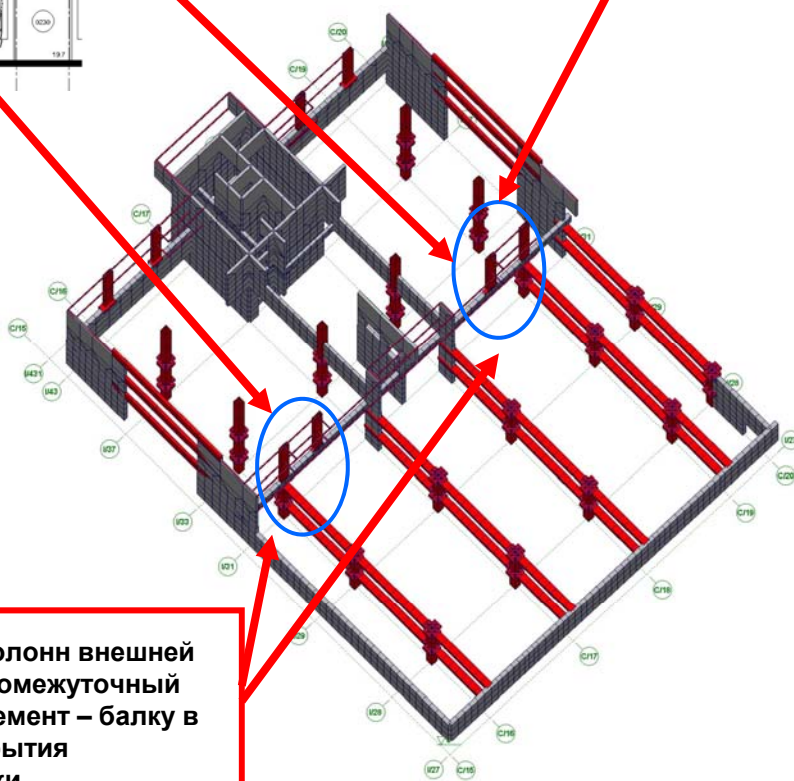
План автопарковки + несущие конструкции (вариант 2)



План 1-го этажа КР - безригельный каркас + стены (вариант 2)



Подземные этажи «свободны» в центральной части – автопарковка возможна.



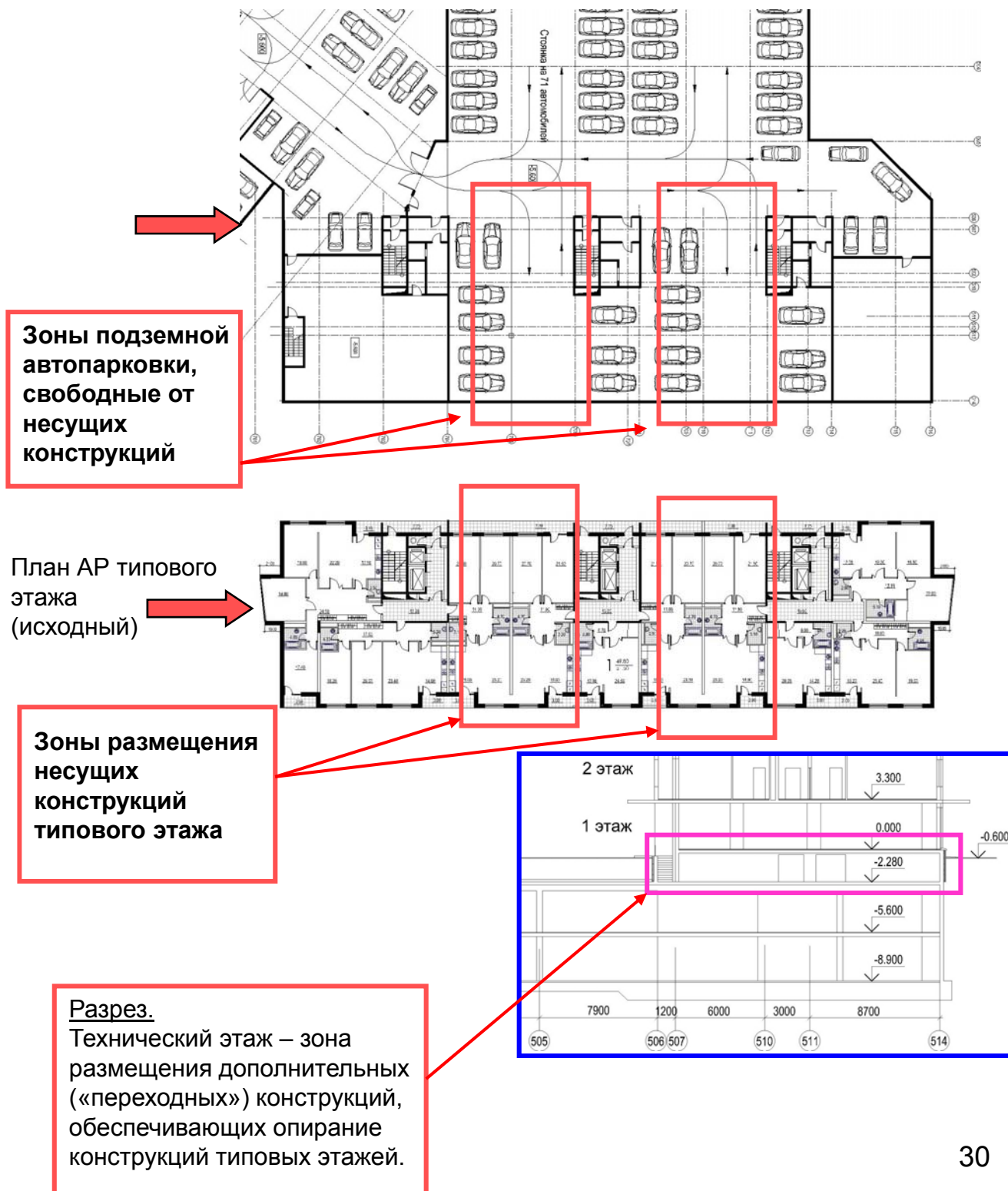
Опираение колонн внешней стены на промежуточный несущий элемент – балку в уровне покрытия автопарковки.



## Общие принципы разработки проекта несущих конструкций зданий.

### Формирование схемы несущих конструкций здания.

Сложные конструктивные схемы – несущие конструкции соосны по высоте, но (частично) не доходят до фундаментных конструкций.



## Общие принципы разработки проекта несущих конструкций зданий.

### Формирование схемы несущих конструкций здания.

Сложные конструктивные схемы – несущие конструкции соосны по высоте, но (частично) не доходят до фундаментных конструкций.

План КР  
подземной  
автопарковки

Несущие конструкции  
подземной автопарковки  
обеспечивают свободный  
проезд автомобилей.

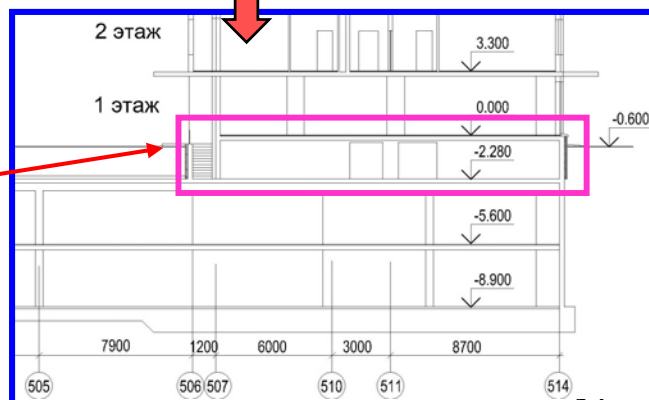
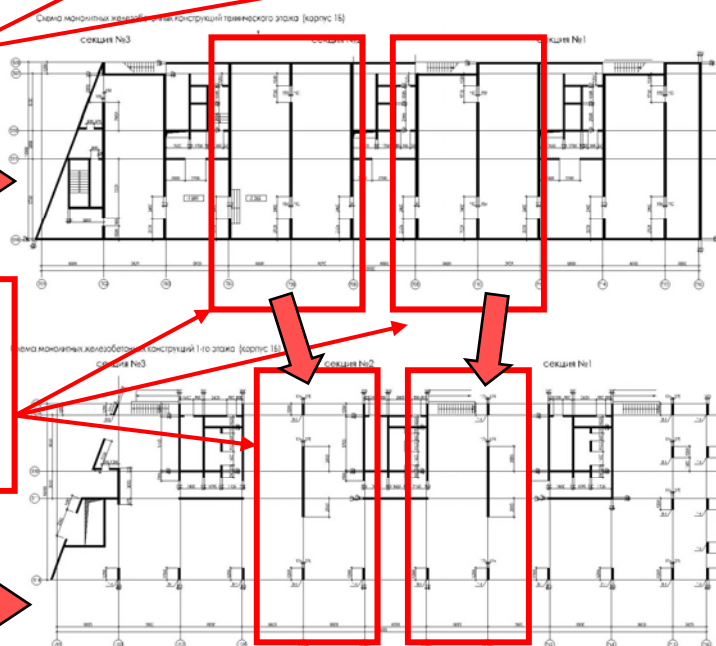
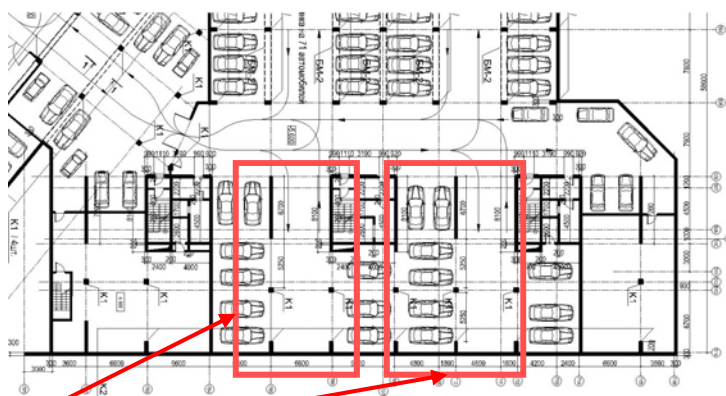
План КР  
технического этажа

«Промежуточные» несущие  
конструкции технического  
этажа обеспечивают опирание  
несущих конструкций 1-го и  
типовых этажей

План КР 1-го этажа

#### Разрез.

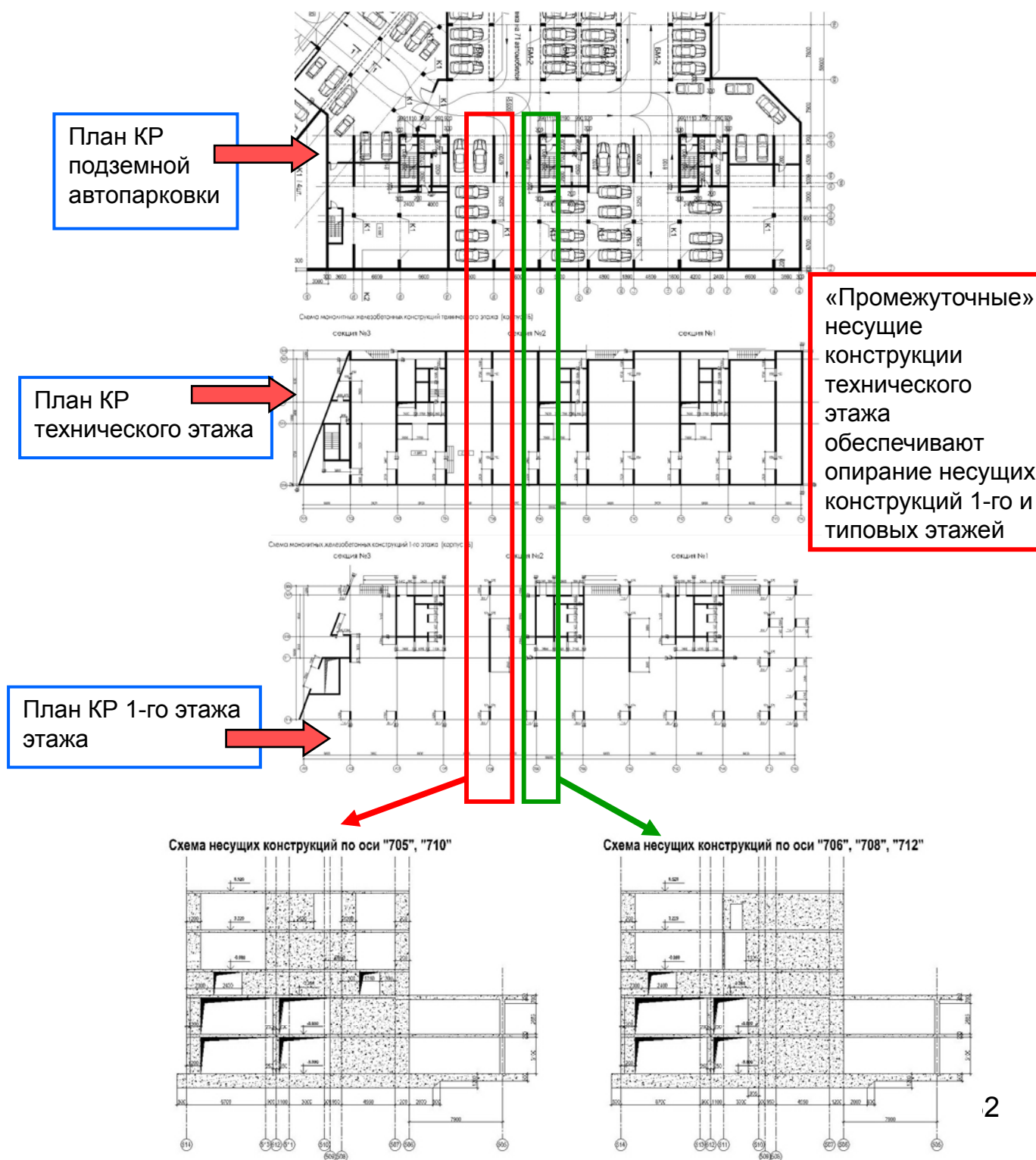
Технический этаж – зона  
размещения дополнительных  
(«переходных») конструкций,  
обеспечивающих опирание  
конструкций типовых этажей.



## Общие принципы разработки проекта несущих конструкций зданий.

### Формирование схемы несущих конструкций здания.

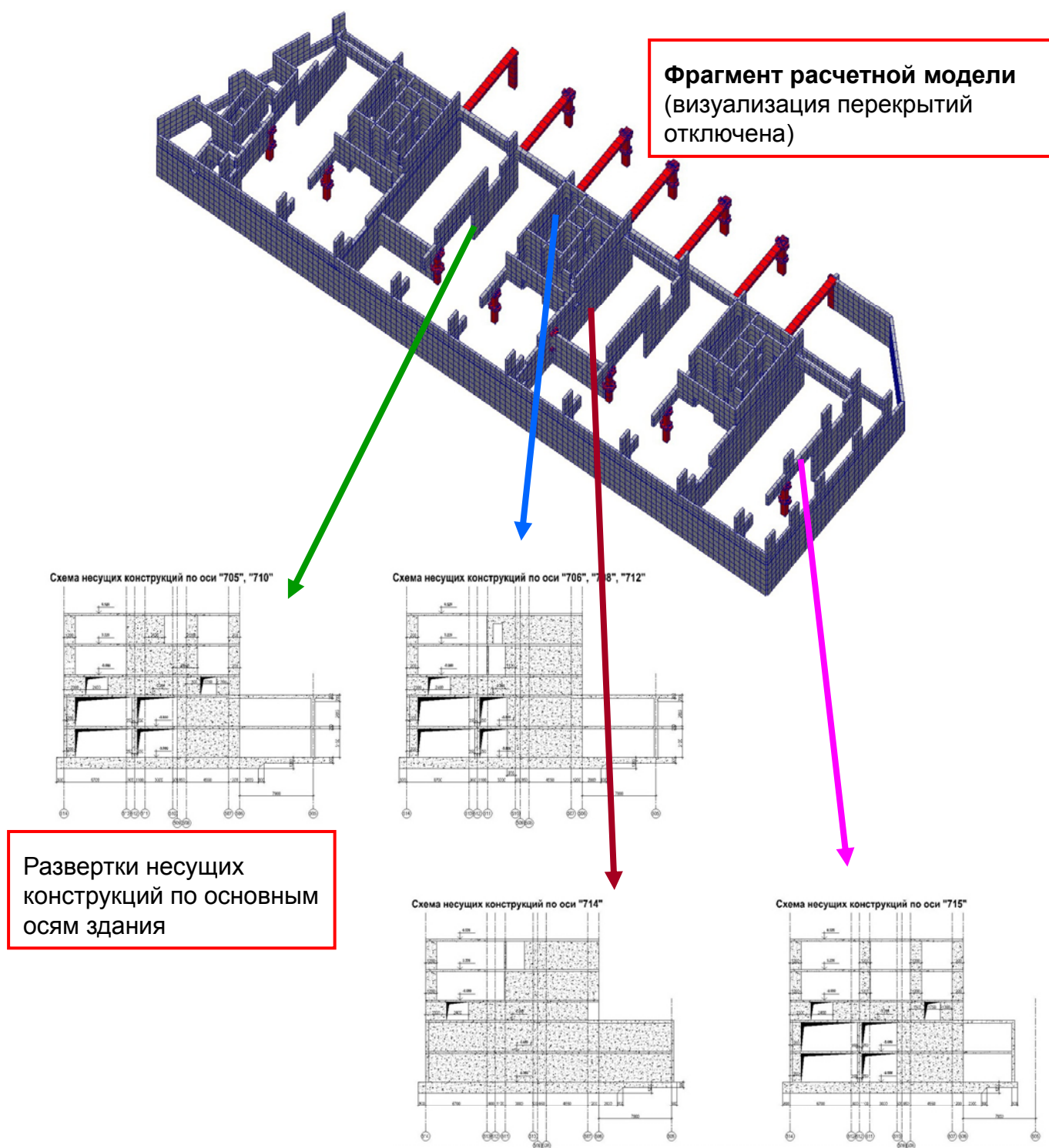
Сложные конструктивные схемы – несущие конструкции соосны по высоте, но (частично) не доходят до фундаментных конструкций.



## Общие принципы разработки проекта несущих конструкций зданий.

### Формирование схемы несущих конструкций здания.

Сложные конструктивные схемы – несущие конструкции соосны по высоте, но (частично) не доходят до фундаментных конструкций.



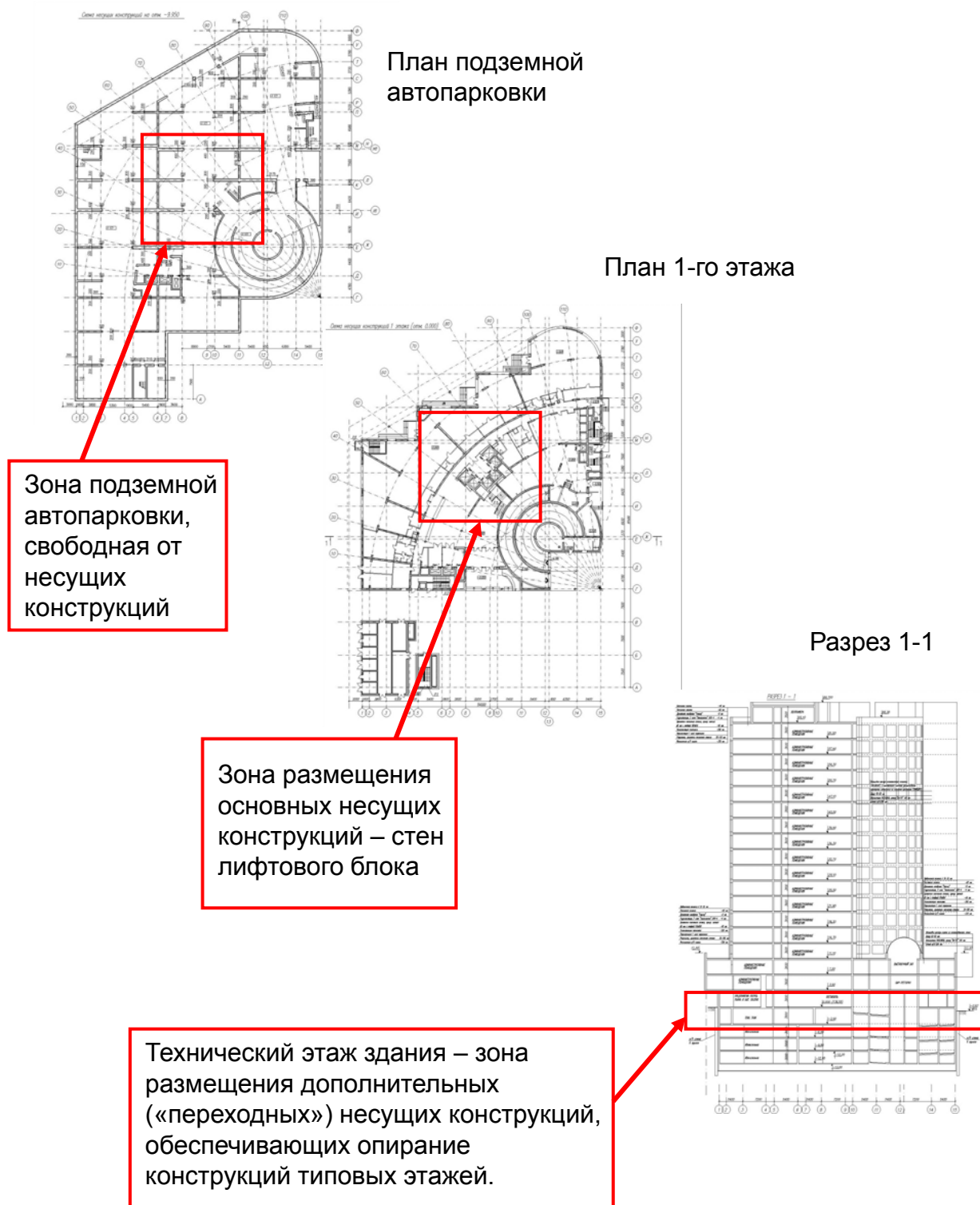
«Промежуточные» несущие конструкции технического этажа обеспечивают опирание несущих конструкций 1-го и типовых этажей



## Общие принципы разработки проекта несущих конструкций зданий.

### Формирование схемы несущих конструкций здания.

Здания с нетривиальными конструктивными схемами – основные несущие конструкции (стены лифтовых шахт) не доходят до фундаментных конструкций

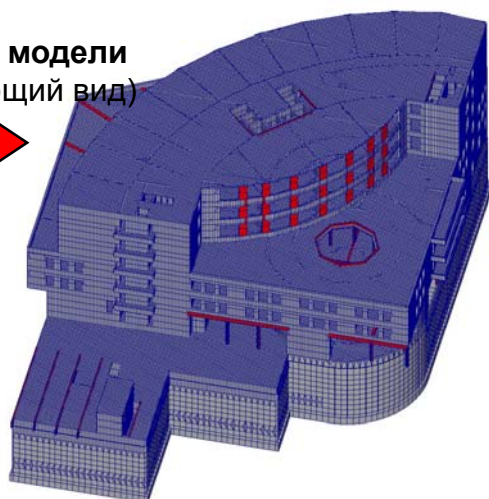


## Общие принципы разработки проекта несущих конструкций зданий.

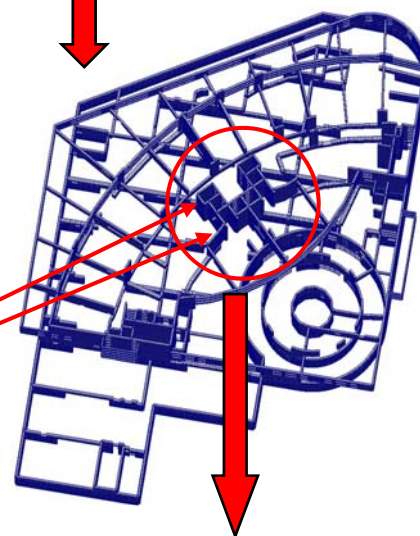
### Формирование схемы несущих конструкций здания.

Здания с нетривиальными конструктивными схемами – основные несущие конструкции (стены лифтовых шахт) не доходят до фундаментных конструкций

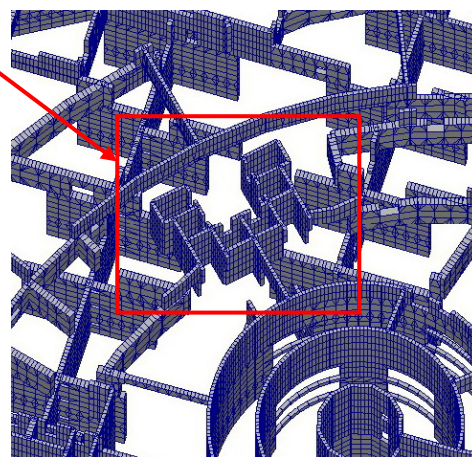
Фрагмент расчетной модели здания (общий вид)



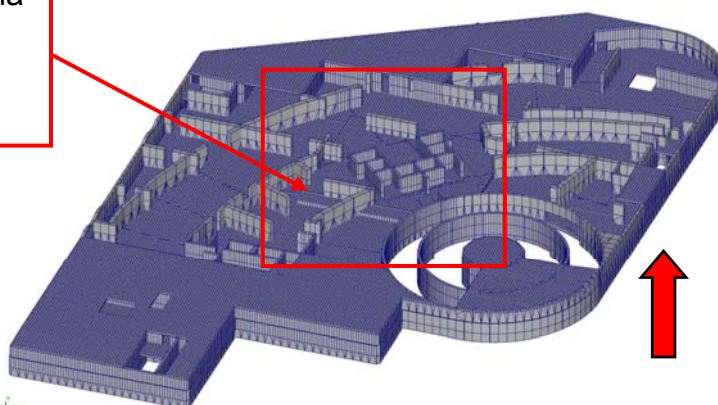
Фрагмент расчетной модели здания (перекрытия отключены)



Стены лифтовых шахт опираются на переходные конструкции технического этажа через массивный участок плиты перекрытия



Увеличенная толщина перекрытия зоны опирания стен лифтовых шахт



Фрагмент расчетной модели здания (опорная зона лифтовых шахт)

### **3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.**

#### **Методы расчета несущих конструкций многоэтажных и высотных железобетонных зданий**

#### **Цели расчета многоэтажных и высотных железобетонных зданий**

- **Определение усилий** в элементах конструктивной системы (колонны, плиты перекрытий, покрытий, фундаментных конструкциях, стенах, ядрах жесткости, а также усилий (напряжений) действующих на основания фундаментов;
- **Определение перемещений** конструктивной системы в целом и отдельных ее элементов, а также ускорений при колебаниях в уровне перекрытий;
- **Расчет устойчивости** конструктивной системы (устойчивость формы и положения);
- **Оценка сопротивляемости** конструктивной системы прогрессирующему обрушению;
- **Оценка несущей способности и деформаций** основания.

#### **Расчет :**

- Модель воздействия.
- Расчетная технология (Расчетный метод).
- Модель несущих конструкций.

### **3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.**

#### **Методы расчета несущих конструкций многоэтажных и высотных железобетонных зданий**

## **Модель воздействия.**

### **Нагрузочный фактор:**

#### **Традиционные модели нагрузок:**

- Равномерно распределенная нагрузка;
- Сосредоточенная сила;
- Сейсмическое воздействие (спектральный метод);
- Ветровые воздействия (в том числе с учетом пульсационной составляющей);
- Импульсное воздействие;
- Температурное воздействие (направление ?; объемное...);
- Смещение элемента несущей конструкции;
- Смещение опорной точки несущей конструкции;
- Гармоническая осциляция ....

**Существенная  
идеализация  
(абстракция)**



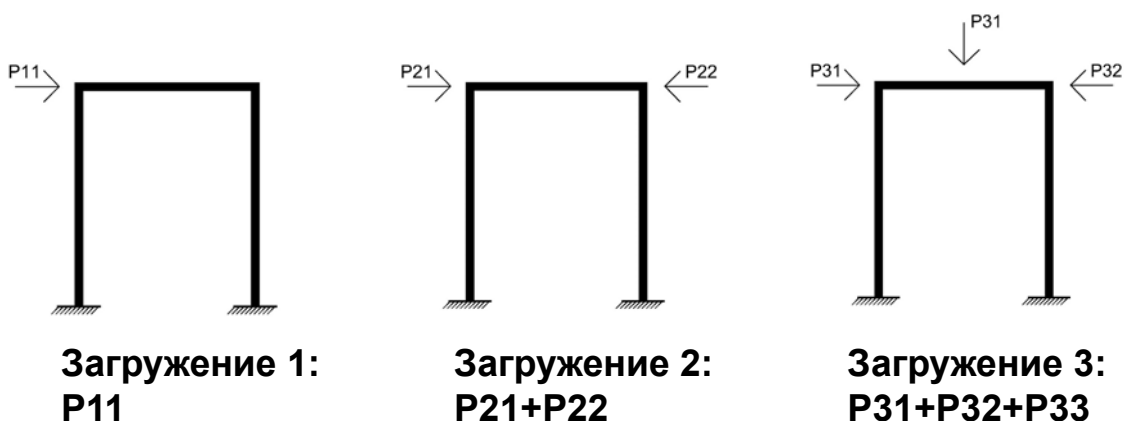


### **3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.**

#### **Методы расчета несущих конструкций многоэтажных и высотных железобетонных зданий**

## **Модель воздействия.**

**Загружение: - совокупность однородных (по генезису) нагрузок**



#### **Основные виды загружений:**

- **Постоянные:** собственный вес конструкций; постоянные деформации и т.п.

- **Временные длительно действующие:** вес оборудования; вес полов; вес перегородок; вес подшивных потолков и т.п.

- **Временные кратковременные:** нагрузки на перекрытия в жилых и общественных зданиях; ветровые нагрузки; снеговые нагрузки; гололедные нагрузки и т.п.

- **Особые нагрузки:** сейсмические воздействия; аварийные воздействия; нагрузки от пожарного и спасательного оборудования и т.п.

- **Крановые нагрузки:** нагрузки от собственного веса крана; нагрузки от поднимаемого груза; нагрузки от торможения грузовой тележки и т.п.

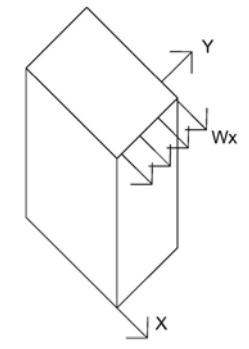
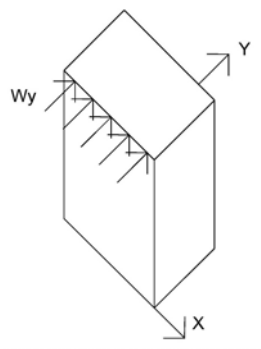
### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

#### Методы расчета несущих конструкций многоэтажных и высотных железобетонных зданий

## Модель воздействия.

Генетически однородное воздействие может состоять из нескольких отдельных загрузений.

**Ветровое  
воздействие**



1.  $W_x (+)$
2.  $W_x (-)$
3.  $W_y (+)$
4.  $W_y (-)$



1.  $W_x (\pm)$



2.  $W_y (\pm)$

Взаимоисключающие  
загружения

Вариант №1



**Снеговая  
нагрузка**

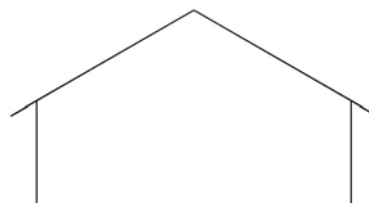
Вариант №2



1. Снег 1
2. Снег 2
3. Снег 3

Взаимоисключающие  
загружения

Вариант №3



### **3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.**

#### **Методы расчета несущих конструкций многоэтажных и высотных железобетонных зданий**

## **Модель воздействия.**

**Пример набора загрузений для многоэтажного здания:**

- |                               |       |                                                                                                         |   |
|-------------------------------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
|                               | 1.    | Соственный вес конструкций. (Постоянные нагрузки).                                                      |   |
|                               | 2.    | Нагрузки от полов и перегородок в жилых помещениях. (Временные длительно действующие нагрузки)          |   |
|                               | 3.    | Нагрузки от полов в фойе, коридорах и холлах (Временные длительно действующие нагрузки).                |   |
|                               | 4.    | Полезные нагрузки на перекрытия в жилых и общественных помещениях (Временные кратковременные нагрузки). |   |
| Взаимо-исключающие загрузения | { 5.  | Ветер X ( $\pm$ - знакопеременный) (Временные кратковременные нагрузки).                                | } |
|                               | 6.    | Ветер Y ( $\pm$ - знакопеременный) (Временные кратковременные нагрузки).                                |   |
| Взаимо-исключающие загрузения | { 7.  | Снеговые нагрузки равномерные (Временные кратковременные нагрузки)                                      |   |
|                               | 8.    | Снеговые нагрузки со «снеговым мешком» (Временные кратковременные нагрузки).                            |   |
| Взаимо-исключающие загрузения | { 9.  | Ветер X пульсационная составляющая (Временные кратковременные нагрузки).                                | } |
|                               | 10.   | Ветер Y пульсационная составляющая (Временные кратковременные нагрузки).                                |   |
| Взаимо-исключающие загрузения | { 11. | Нагрузки от пожарных машин (Тип1) (Особые нагрузки).                                                    |   |
|                               | 12.   | Нагрузки от пожарных машин (Тип2) (Особые нагрузки).                                                    |   |
|                               | 13.   | Нагрузки от пожарных машин (ТипN) (Особые нагрузки).                                                    |   |
| Взаимо-исключающие загрузения | { 14. | Сейсмические воздействия X ( $\pm$ - знакопеременный) (Особые нагрузки).                                |   |
|                               | 15.   | Сейсмические воздействия Y ( $\pm$ - знакопеременный) (Особые нагрузки).                                |   |



### **3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.**

#### **Методы расчета несущих конструкций многоэтажных и высотных железобетонных зданий**

## **Модель воздействия.**

**Загрузки могут быть:**

1. Знакопеременными.
2. Взаимоисключающими.
3. Взаимосвязанными.
4. Сопутствующими и т.п.

**Необходим механизм назначения логических связей между загрузками.**

**Нормы: СНиП 2.01.07-85\* «Нагрузки и воздействия»:**  
Виды сочетаний нагрузок и правила их формирования.

1. Основные сочетания нагрузок.
2. Особые сочетания нагрузок.

#### **Основные сочетания нагрузок:**

(Постоянные нагрузки  $\times 1.0$ ) + (Временные длительно действующая [1загрузка]  $\times 1.0$ ) + (Временная кратковременная [1загрузка]  $\times 1.0$ )  
ИЛИ (Постоянные нагрузки  $\times 1.0$ ) + (Временные длительно действующие [n загрузок]  $\times 0,95$ ) + Временные кратковременные [n загрузок]  $\times 0.9$ ).

#### **Особые сочетания нагрузок:**

(Постоянные нагрузки  $\times 1.0$ ) + (Временные длительно действующие  $\times 0.95$ ) + (отдельные Временные кратковременные загрузки  $\times 0.8$ ) + (Особое загрузка  $\times 1.0$ )

#### **Особые с учетом сейсмических воздействий сочетания нагрузок:**

(Постоянные нагрузки  $\times 1.0$ ) + (Временные длительно действующие  $\times 0.8$ ) + (отдельные Временные кратковременные загрузки  $\times 0.5$ ) + (Особое сейсмическое загрузка  $\times 1.0$ )



### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

#### Методы расчета несущих конструкций многоэтажных и высотных железобетонных зданий

## Модель воздействия.

Методы группирования нагрузжений и назначения логических связей между ними

#### 1. «Комбинация нагрузжений»:

сумма нагрузжений (с коэффициентами сочетаний)



**Назначается  
конструктором**

Пример: 1:  $L1 \times 1.0 + L2 \times 1.0 + L3 \times 1.0 + L4 \times 1.0$

2:  $L1 \times 1.0 + L2 \times 1.0 + L3 \times 1.0 + L4 \times 0.9 + L5 \times 0.9 + L7 \times 0.9 + L9 \times 0.9$

3:  $L1 \times 1.0 + L2 \times 1.0 + L3 \times 1.0 + L4 \times 0.9 + L6 \times 0.9 + L8 \times 0.9 + L10 \times 0.9$

4:  $L1 \times 1.0 + L2 \times 0.95 + L3 \times 0.95 + L4 \times 0.8 + L11 \times 1.0$

.....

**ВАЖНО!**

В рамках каждой комбинации все нагрузжения, входящие в эту комбинацию по заданным правилам, действуют на ВСЮ СИСТЕМУ ОДНОМОМЕНТНО!

**Анализ:**

Назначенная конструктором система комбинаций СУБЪЕКТИВНА! Могут быть пропущены возможные сочетания нагрузжений, вызывающих экстремальные нагрузки (напряжения) в элементах расчетной системы.

### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

#### Методы расчета несущих конструкций многоэтажных и высотных железобетонных зданий

## Модель воздействия.

Методы группирования нагрузжений и назначения логических связей между ними

#### 2. «Расчетные сочетания усилий (PCY)»:

возможные группы нагрузжений (с коэффициентами сочетаний), формируемые по принятым критериям



**Критерии назначаются конструктором (как правило на общепринятых принципах)**

#### Критерии формирования PCY:

поиск таких сочетаний отдельных нагрузжений, которые создают экстремальные напряжения в характерных точках сечения стержня или на характерных площадках пластин.

Загружение  $N_i$  либо войдет в какое-либо PCY, либо будет отброшено (если это загружение создает разгружающий эффект).

При числе возможном числе PCY  $2^n$  (где  $n$  количество нагрузжений, при  $n$  – разумное и реальное число) количество комбинаций становится чрезвычайно большим и решение выбора PCY невозможно методом прямого перебора вариантов.

**ВАЖНО!**

PCY не являются комбинацией, действующей единомоментно на всю расчетную систему.

В разных характерных точках (площадках) возможно несколько разнородных PCY, вызывающих разные экстремальные напряжения.

### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

#### Методы расчета несущих конструкций многоэтажных и высотных железобетонных зданий

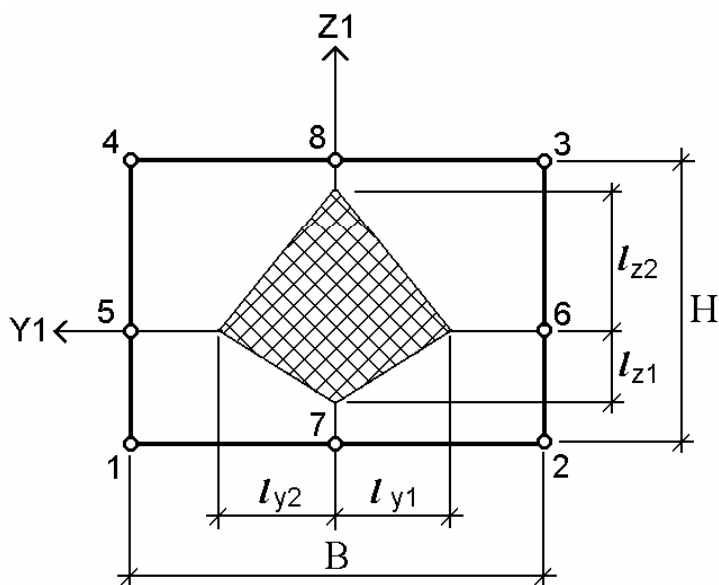
## Модель воздействия.

Методы группирования загрузжений и назначения логических связей между ними

### «Расчетные сочетания усилий (РСУ)»

**Критерии формирования РСУ для стержней:**

Экстремальные значения нормальных и касательных напряжений в контрольных точках сечения.



$$\sigma_k = \frac{N}{F} \pm \frac{M_y z_k}{I_y} \pm \frac{M_z y_k}{I_z}$$

$$\tau_y F = \frac{Q_y}{2} \pm \frac{M_{kp}}{2(l_{y1} + l_{y2})}$$

$$\tau_z F = \frac{Q_z}{2} \pm \frac{M_{kp}}{2(l_{z1} + l_{z2})}$$

### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

#### Методы расчета несущих конструкций многоэтажных и высотных железобетонных зданий

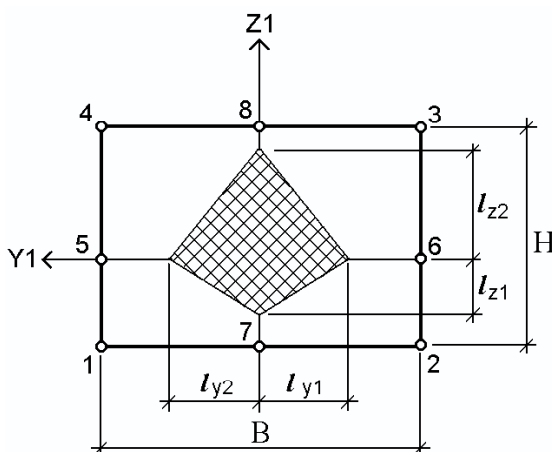
## Модель воздействия.

Методы группирования нагрузок и назначения логических связей между ними

### «Расчетные сочетания усилий (РСУ)»

Критерии формирования РСУ для стержней:

Экстремальные значения нормальных и касательных напряжений в контрольных точках сечения.



|          |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |
|----------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Критерий | 1             | 2             | 3             | 4             | 5             | 6             | 7             | 8             | 9             | 10            |
| Значение | $\sigma_{1+}$ | $\sigma_{1-}$ | $\sigma_{2+}$ | $\sigma_{2-}$ | $\sigma_{3+}$ | $\sigma_{3-}$ | $\sigma_{4+}$ | $\sigma_{4-}$ | $\tau_{7+}$   | $\tau_{7-}$   |
| Критерий | 11            | 12            | 13            | 14            | 15            | 16            | 17            | 18            | 19            | 20            |
| Значение | $\tau_{8+}$   | $\tau_{8-}$   | $\tau_{5+}$   | $\tau_{5-}$   | $\tau_{6+}$   | $\tau_{6-}$   | $N^+$         | $N^-$         | $\sigma_{7+}$ | $\sigma_{7-}$ |
| Критерий | 21            | 22            | 23            | 24            | 25            | 26            | 27            | 28            | 29            | 30            |
| Значение | $\sigma_{8+}$ | $\sigma_{8-}$ | $\sigma_{5+}$ | $\sigma_{5-}$ | $\sigma_{6+}$ | $\sigma_{6-}$ | $Q_{y+}$      | $Q_{y-}$      | $Q_{y+}$      | $Q_{y-}$      |
| Критерий |               |               |               |               |               |               | 31            | 32            | 33            | 34            |
| Значение |               |               |               |               |               |               | $Q_{z+}$      | $Q_{z-}$      | $Q_{z+}$      | $Q_{z-}$      |



### **3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.**

#### **Методы расчета несущих конструкций многоэтажных и высотных железобетонных зданий**

## **Модель воздействия.**

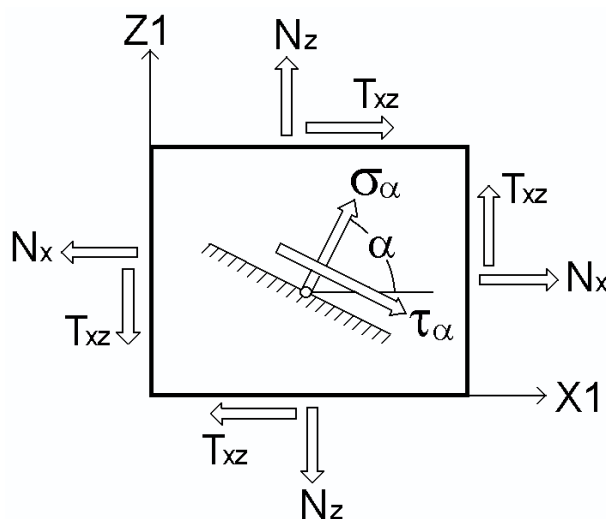
Методы группирования загрузжений и назначения логических связей между ними

### **«Расчетные сочетания усилий (РСУ)»**

**Критерии формирования РСУ для пластин (мембран – плоское напряженное состояние):**

Экстремальные значения нормальных и касательных напряжений на различным образом ориентированных площадках.

(В общем случае главные напряжения в одной и той же точке конструкции при различных загрузжениях имеют различную ориентацию, поэтому их использование в качестве критерия отбора РСУ невозможно.)



$$\sigma(\alpha) = N_x \cos^2 \alpha + N_z \sin^2 \alpha + T_{xz} \sin 2\alpha$$

$$\tau(\alpha) = \frac{1}{2} (N_z - N_x) \sin 2\alpha + T_{xz} \cos 2\alpha$$

### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

#### Методы расчета несущих конструкций многоэтажных и высотных железобетонных зданий

## Модель воздействия.

Методы группирования нагрузжений и назначения логических связей между ними

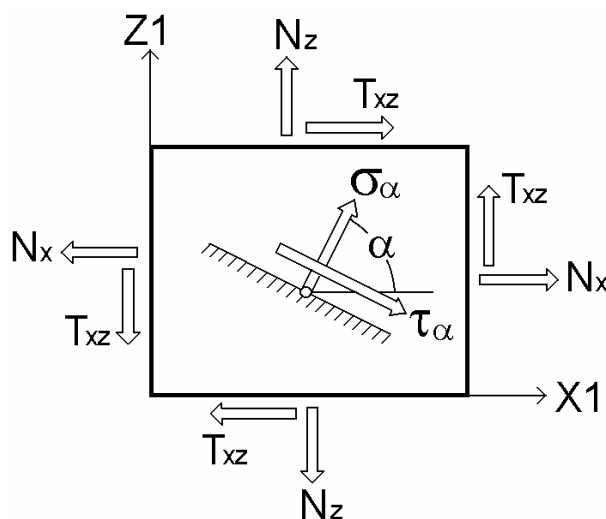
### «Расчетные сочетания усилий (РСУ)»

Критерии формирования РСУ для пластин (плиты – изгиб из плоскости):

Экстремальные значения нормальных и касательных напряжений на различным образом ориентированных площадках.

Общий подход – аналогичен мембранам. Анализируются нормальные и касательные напряжения на нижней и верхней поверхностях плиты.

Моменты, создающие экстремальные напряжения:



$$M(\alpha) = M_x \cos^2 \alpha + M_y \sin^2 \alpha + M_{xy} \sin 2\alpha$$

$$M_k(\alpha) = \frac{1}{2} (M_y - M_x) \sin 2\alpha + M_{xy} \cos 2\alpha$$

### **3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.**

#### **Методы расчета несущих конструкций многоэтажных и высотных железобетонных зданий**

## **Модель воздействия.**

Методы группирования нагрузжений и назначения логических связей между ними

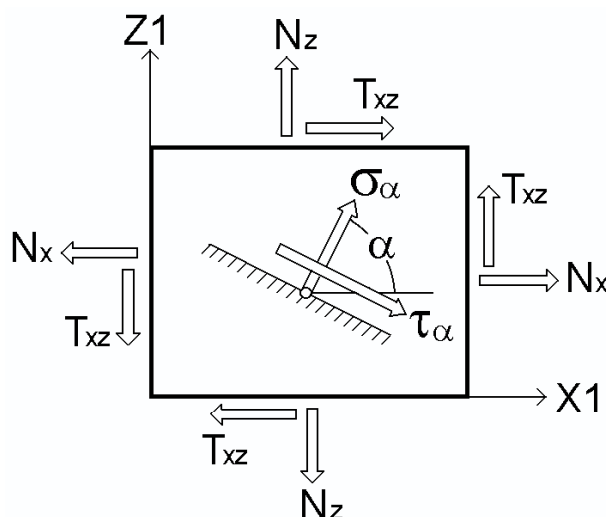
### **«Расчетные сочетания усилий (РСУ)»**

**Критерии формирования РСУ для пластин (плиты – изгиб из плоскости):**

Экстремальные значения нормальных и касательных напряжений на различным образом ориентированных площадках.

Общий подход – аналогичен мембранам. Анализируются нормальные и касательные напряжения на нижней и верхней поверхностях плиты.

Моменты, создающие экстремальные напряжения:



$$M(\alpha) = M_x \cos^2 \alpha + M_y \sin^2 \alpha + M_{xy} \sin 2\alpha$$

$$M_k(\alpha) = \frac{1}{2} (M_y - M_x) \sin 2\alpha + M_{xy} \cos 2\alpha$$

### **3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.**

#### **Методы расчета несущих конструкций многоэтажных и высотных железобетонных зданий**

## **Модель воздействия.**

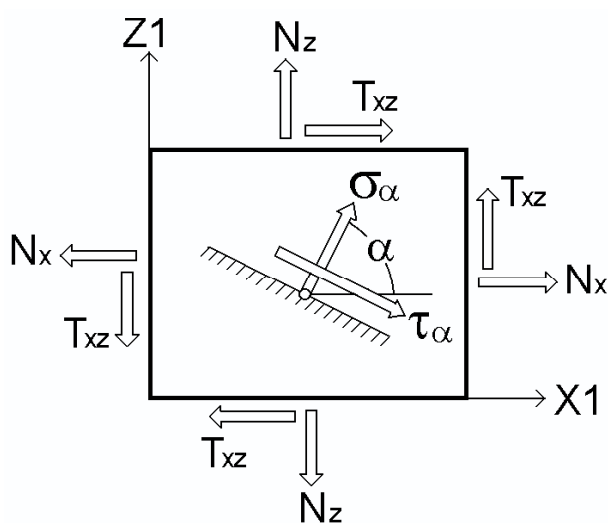
Методы группирования нагрузок и назначения логических связей между ними

### **«Расчетные сочетания усилий (РСУ)»**

**Критерии формирования РСУ для пластин (оболочки – мембранные напряжения + изгиб из плоскости):**

Экстремальные значения нормальных и касательных напряжений на различным образом ориентированных площадках.

Общий подход – аналогичен мембранам. Анализируются нормальные и касательные напряжения на нижней и верхней поверхностях плиты:



$$\sigma_x^{H/B} = N_x \pm \frac{6M_x}{h^2};$$
$$\sigma_y^{H/B} = N_y \pm \frac{6M_y}{h^2};$$
$$\tau^{H/B} = T_{xy} \pm \frac{6M_{xy}}{h^2},$$



### **3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.**

#### **Методы расчета несущих конструкций многоэтажных и высотных железобетонных зданий**

## **Модель воздействия.**

Методы группирования нагрузок и назначения логических связей между ними

### **«Расчетные сочетания усилий (PCY)»**

**ВАЖНО!**

Расчетное сочетание нагрузок определяется по указанным выше критериям для каждого элемента в отдельности (более того — для каждого сечения элемента) и при этом может оказаться разным для различных элементов.

Таким образом, для системы в целом мы получаем сочетания нагрузок, которые физически не действуют одновременно, поэтому нельзя построить «эпюру PCY» или «изополя PCY». Если к этому добавить, что каждому элементу соответствует не одно PCY, а несколько, то указанная «невозможность» еще более усугубится.

### **3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.**

#### **Методы расчета несущих конструкций многоэтажных и высотных железобетонных зданий**

## **Модель воздействия.**

**Нормативная концепция:**  
**ПРИНЦИП  
СУПЕРПОЗИЦИИ**



Каждое нагружение действует независимо (отдельно) от других нагружений на исходную (недеформированную) расчетную модель сооружения.

**Анализ  
концепции:**

1. В процессе возведения здания естественным образом в первую очередь появляется нагрузка от собственного веса и действует в течение всего срока «жизни» здания.
2. Любое иное (кроме собственного веса) нагружение действует на возведенное здание, имеющее нагрузку от собственного веса (условно – «базовое нагружение»). Т.Е. любое иное (кроме собственного веса) нагружение действует на деформированную базовым нагружением систему.
3. Принцип суперпозиции вполне приемлем для малоэтажных сооружений, а также для малодеформируемых собственным весом сооружений.

#### **Вывод:**

Для сооружений, имеющих значимые величины деформирования от действия «базового» нагружения необходим иной (более точный) метод формирования сочетаний (группирования) нагрузок.

### **3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.**

#### **Цели расчета многоэтажных и высотных железобетонных зданий**

- **Определение усилий** в элементах конструктивной системы (колонны, плиты перекрытий, покрытий, фундаментных конструкциях, стенах, ядрах жесткости, а также усилий (напряжений) действующих на основания фундаментов;
- **Определение перемещений** конструктивной системы в целом и отдельных ее элементов, а также ускорений при колебаниях в уровне перекрытий;
- **Расчет устойчивости** конструктивной системы (устойчивость формы и положения);
- **Оценка сопротивляемости** конструктивной системы прогрессирующему обрушению;
- **Оценка несущей способности и деформаций** основания.

#### **Нагрузки и воздействия при расчете многоэтажных и высотных железобетонных зданий**

- Для всех видов зданий и сооружений – СНиП2.01.07-85\* «Нагрузки и воздействия»;
- Для высотных зданий – региональные (территориальные) нормы – для Москвы – МГСН 4.19-2005 «Проектирование многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве»;
- Для уникальных зданий – Специальные Технические Условия на проектирование.

### **3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.**

#### **Особенности при назначении нагрузок и воздействий при расчете высотных железобетонных зданий (МГСН 4.19-2005)**

- Для высотных зданий временные кратковременные нагрузки следует принимать с учетом особенностей эксплуатации (в МГСН приведены минимальные значения временных кратковременных нагрузок);
- Дополнительные к базовым (СНиП 2.01.07-85\* «Нагрузки и воздействия») нагрузки:
  - Нагрузки от аварийно-спасательной кабины вертолета;
  - От транспортных средств (в том числе от пожарного автотранспорта) на покрытия стилобатной части;
  - Для ветрового воздействия (в том числе - с учетом пульсационной составляющей) – учет резонансного вихревого возбуждения; учет аэродинамически неустойчивых колебаний типа галопирования; учет аэродинамически неустойчивых колебаний типа дивергенции;
  - Ветровое воздействие следует определять с учетом взаимного влияния зданий и сооружений на площадке строительства и окружающего рельефа;
  - Расчет на сейсмические воздействия;
  - Расчет ограждающих конструкций на ветровые воздействия с учетом локальных особенностей ветровых нагрузок.
  - Расчет скорости ветрового потока в пешеходной зоне.

#### **Коэффициенты надежности при расчете высотных железобетонных зданий (МГСН 4.19-2005)**

Высотные здания относятся к сооружениям с повышенным уровнем ответственности. При расчете их несущих конструкций, оснований и фундаментов принимаются следующие коэффициенты надежности по ответственности (в зависимости от высоты  $h$ ):

- Свыше 75 м до 100 м  $\gamma=1,1$ ;
- Свыше 100 м до 200 м  $\gamma=1,15$ ;
- Свыше 200 м  $\gamma=1,2$ .

**3. Расчетные модели монолитных железобетонных  
многоэтажных и высотных зданий.**

## **Ветровое воздействие**

**Статическое ветровое воздействие.**

**Ветровое воздействие с учетом пульсационной составляющей (динамическое воздействие)**

**Виды аэродинамической неустойчивости высоких сооружений и гибких конструкций:**

**Вихревое возбуждение** (ветровой резонанс);

**Галопирование** (самовозбуждаемые колебания гибких сооружений в направлении поперёк ветрового потока);

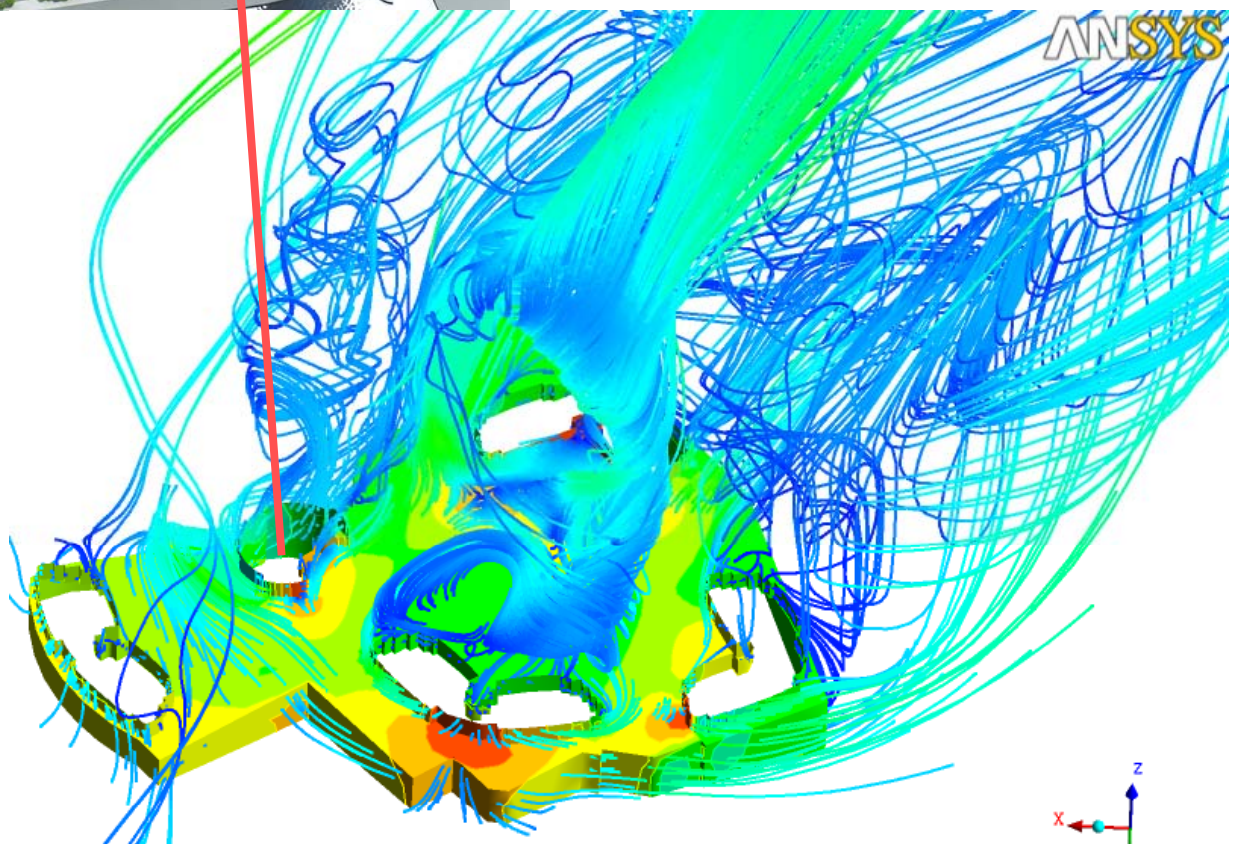
**Флаттер** (неустойчивость гибких пластинчатых конструкций);

**Дивергенция** (кручение конструкции при достижении пороговой скорости ветрового потока).



### **3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.**

- Ветровое воздействие следует определять с учетом взаимного влияния зданий и сооружений на площадке строительства и окружающего рельефа;



Линии тока ветрового потока при западном направлении ветра.

### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

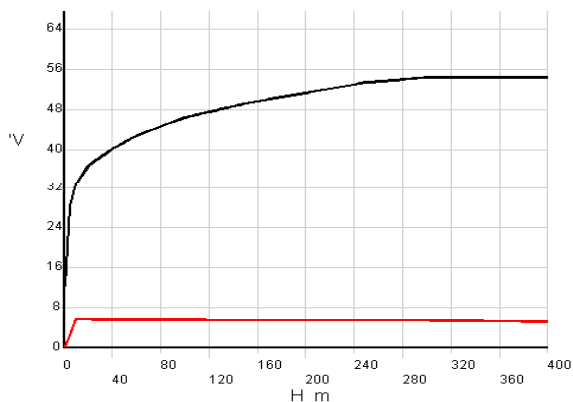
## Расчетно-теоретическая методика определения ветровых воздействий.

### Ветровое воздействие (статическая составляющая).

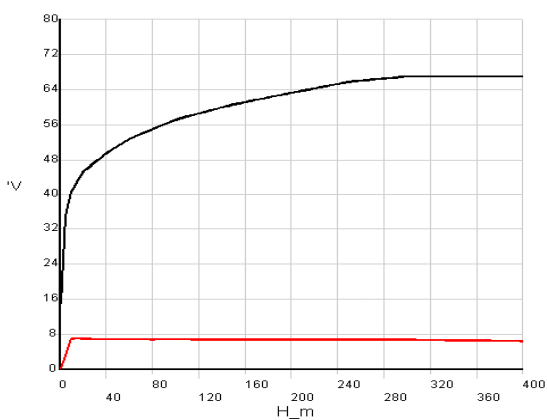
Среднемесячные и наибольшие скорости ветра за многолетний период

| Месяц                     | I   | II  | III       | IV  | V   | VI  | VII | VIII | IX  | X   | XI  | XII | Год       |
|---------------------------|-----|-----|-----------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----------|
| $V_{\text{ср}}$<br>м/сек  | 3.3 | 3.3 | 2.9       | 3.3 | 3.4 | 3.3 | 3.1 | 3.0  | 2.8 | 2.9 | 3.0 | 3.2 | 3.1       |
| $V_{\text{max}}$<br>м/сек | 28  | 25  | <b>40</b> | 25  | 29  | 24  | 24  | 29   | 29  | 28  | 34  | 29  | <b>40</b> |

Скорости ветра. Ветровой район IV .  
(нормативный метод)



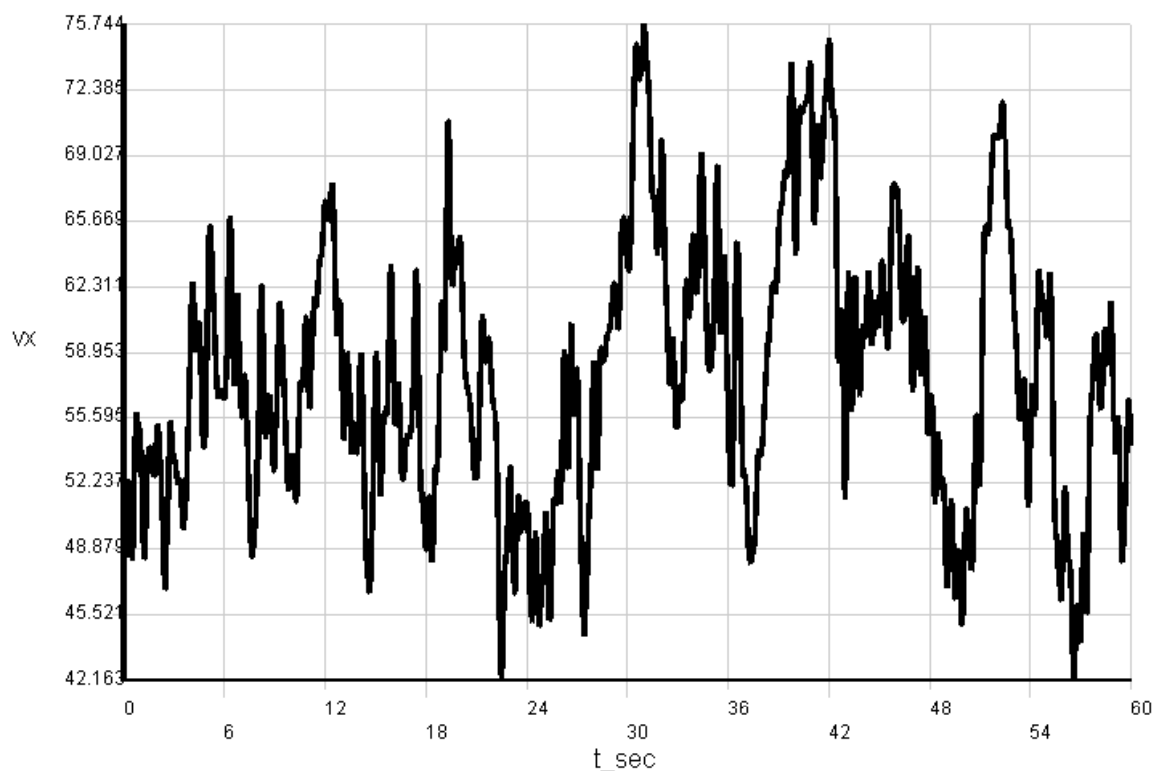
Скорости ветра. Ветровой район VI .  
(нормативный метод)



### **3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.**

## **Расчетно-теоретическая методика определения ветровых воздействий.**

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

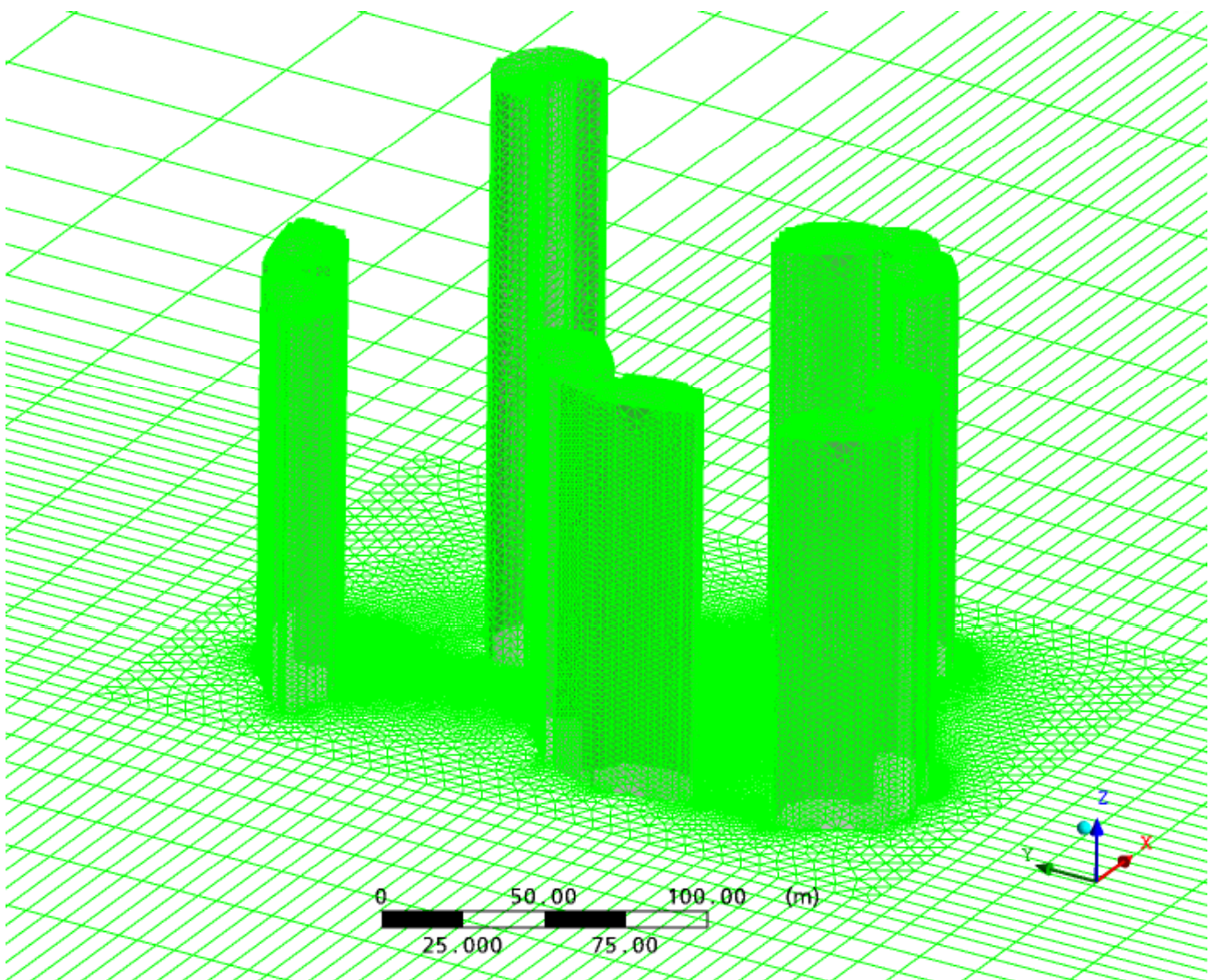


$h=100\text{ m} \gg v_x \gg \text{mean}=57.7942174 \text{ obesp}=2.61887771 \text{ tke}=70.468383 \text{ int}=0.118595207$

### **3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.**

#### **Расчетно-теоретическая методика определения ветровых воздействий.**

#### **Моделирование ветровых воздействий методами аэрогидродинамики (среда «ANSYS CFX»)**



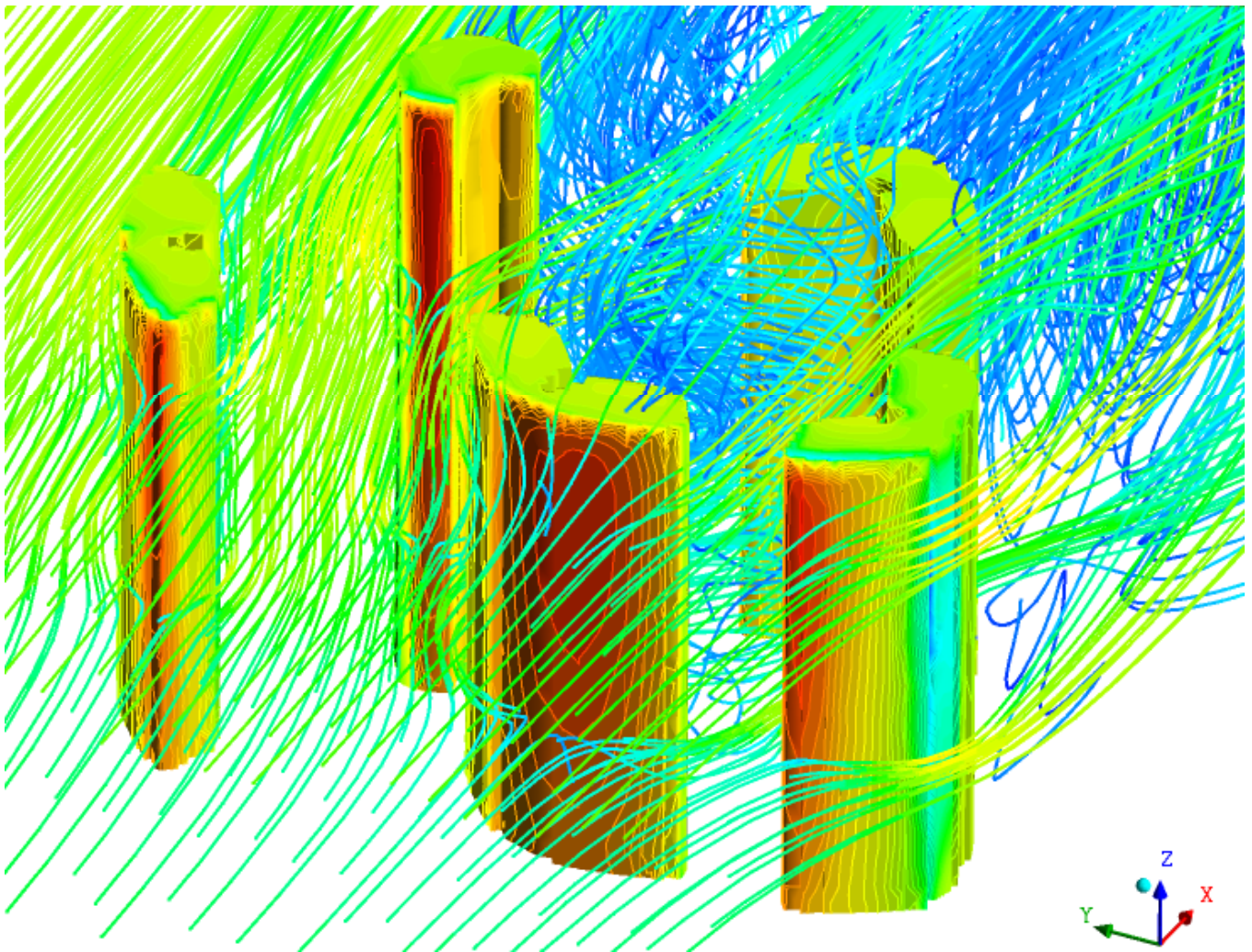
3-х мерная расчетная модель комплекса в с среде «ANSYS CFX»



### **3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.**

#### **Расчетно-теоретическая методика определения ветровых воздействий.**

#### **Моделирование ветровых воздействий методами аэрогидродинамики (среда «ANSYS CFX»)**



Расчетные линии тока ветра.



### **3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.**

#### **Расчетно-теоретическая методика определения ветровых воздействий.**

#### **Моделирование ветровых воздействий методами аэрогидродинамики (среда «ANSYS CFX»)**

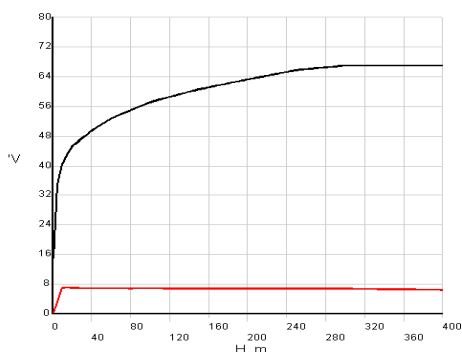


Расчетные линии тока ветра.

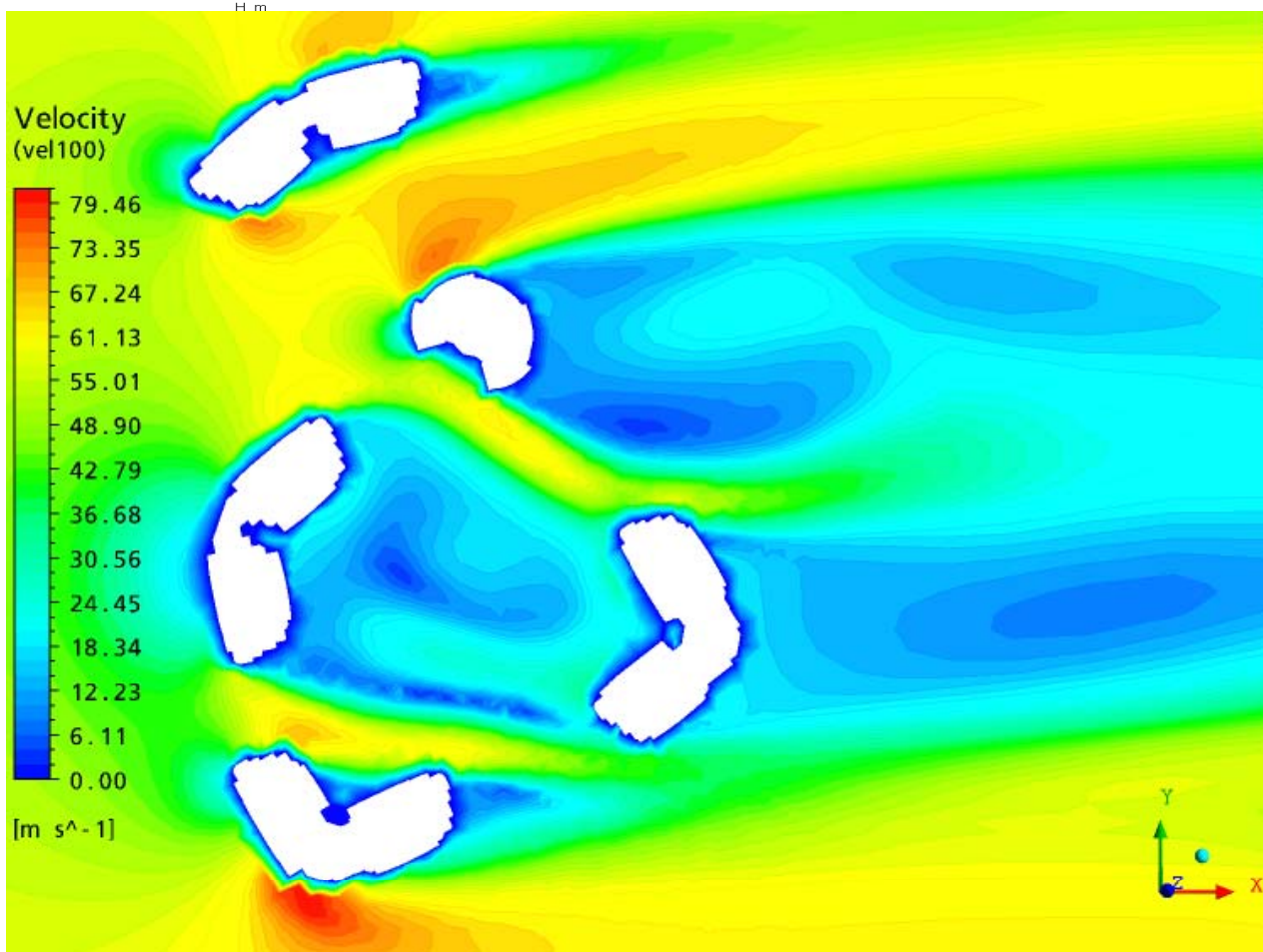
### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

#### **Расчетно-теоретическая методика определения ветровых воздействий.**

#### **Моделирование ветровых воздействий методами аэрогидродинамики (среда «ANSYS CFX»)**



Нормативные скорости ветра.  
Ветровой район VI.

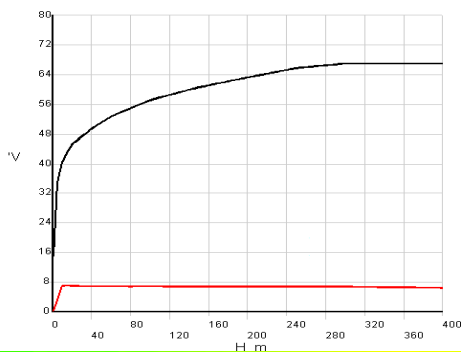


Расчетные средние скорости ветра на высоте 100 м.

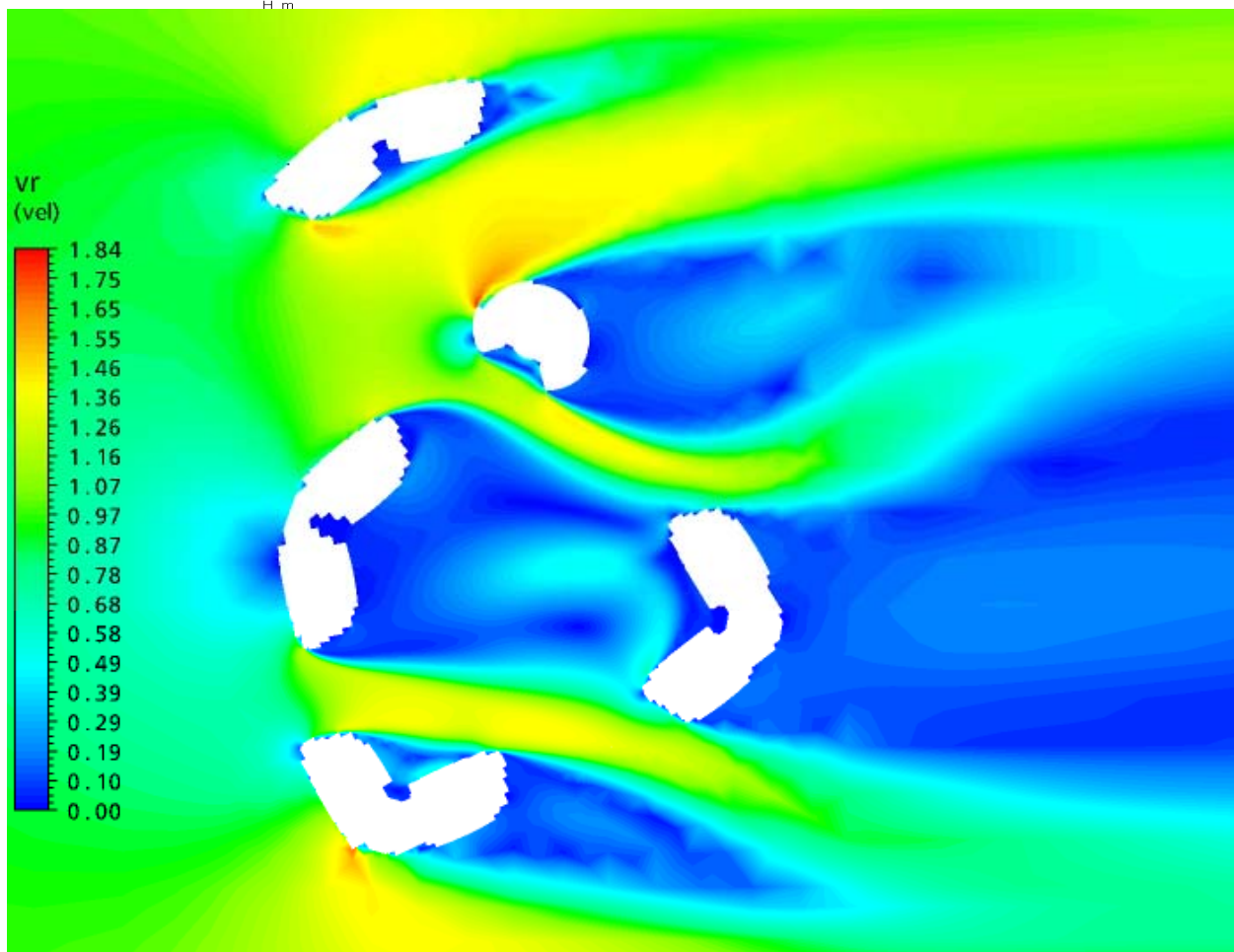
### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

#### **Расчетно-теоретическая методика определения ветровых воздействий.**

#### **Моделирование ветровых воздействий методами аэрогидродинамики (среда «ANSYS CFX»)**



Нормативные скорости ветра.  
Ветровой район VI.

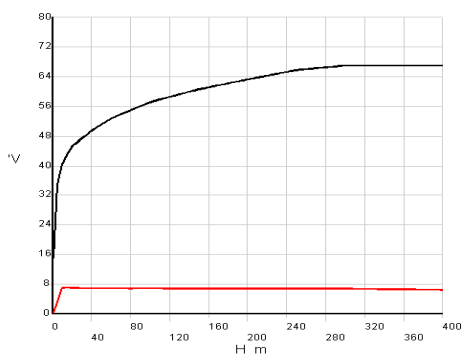


Скорости ветра относительные  
(деленные на скорость набегающего потока).

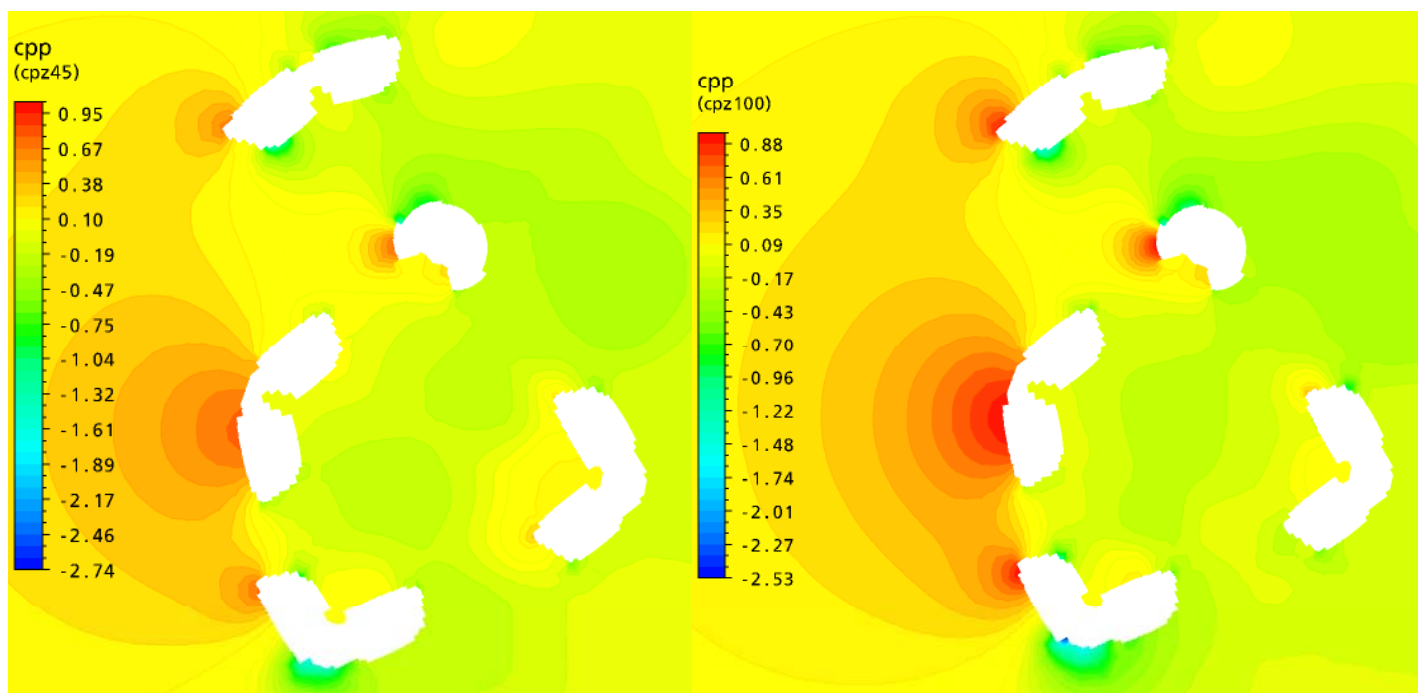
### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

## Расчетно-теоретическая методика определения ветровых воздействий.

## Моделирование ветровых воздействий методами аэрогидродинамики (среда «ANSYS CFX»)



Нормативные скорости ветра.  
Ветровой район VI.



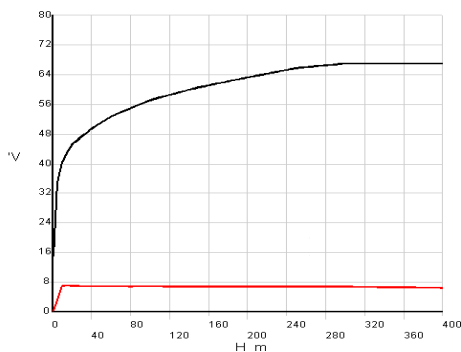
Осредненные аэродинамические коэффициенты на высоте 45 м.

Осредненные аэродинамические коэффициенты на высоте 100 м.

### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

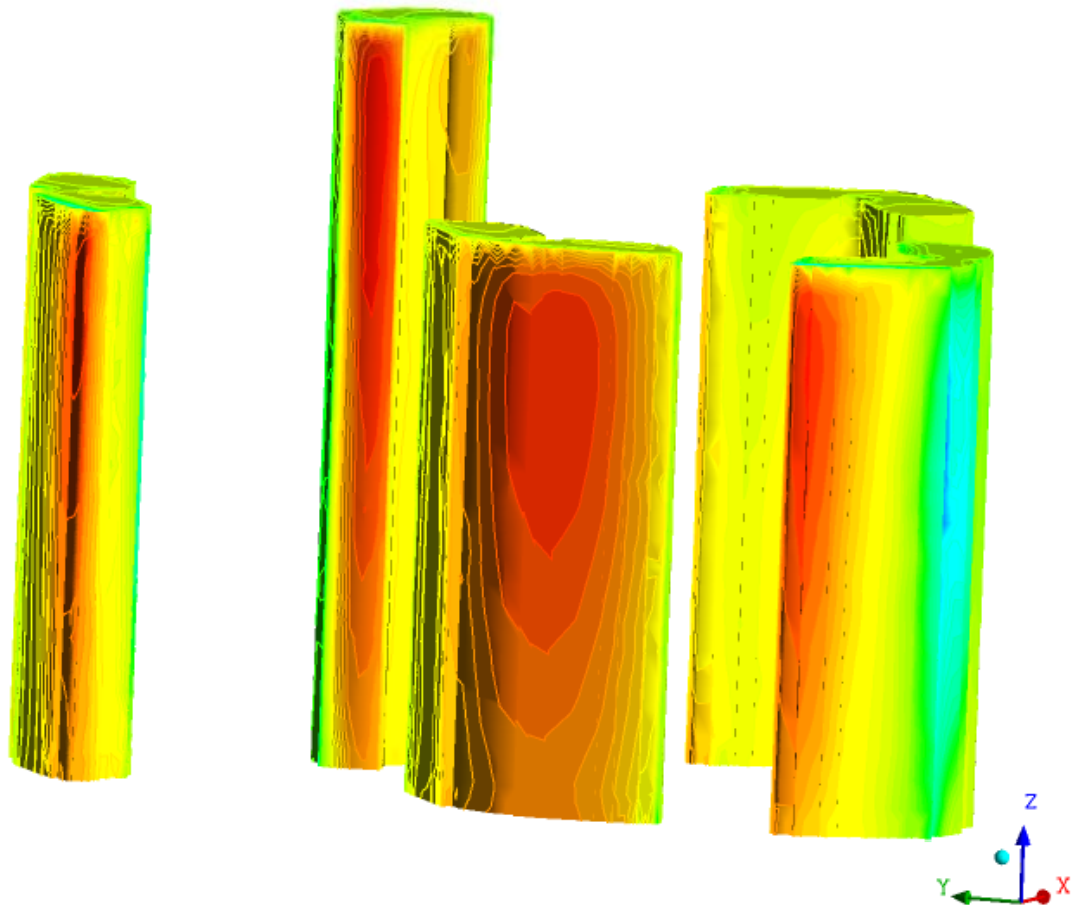
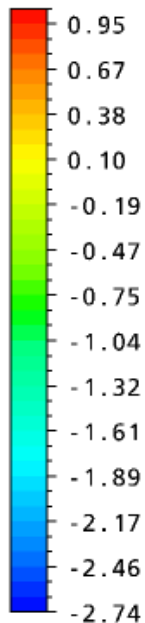
#### **Расчетно-теоретическая методика определения ветровых воздействий.**

#### **Моделирование ветровых воздействий методами аэрогидродинамики (среда «ANSYS CFX»)**



Нормативные скорости ветра.  
Ветровой район VI.

срр  
(срi)



Осредненные аэродинамические  
коэффициенты по поверхности зданий.



### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

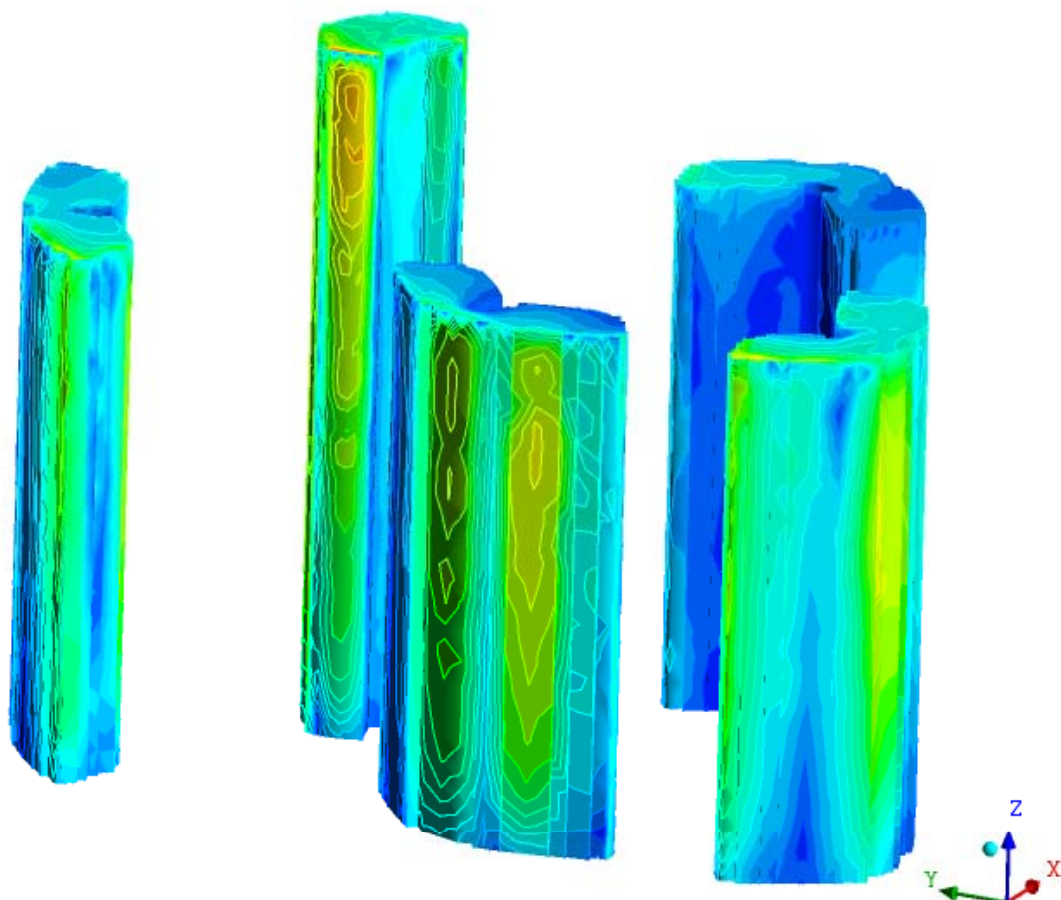
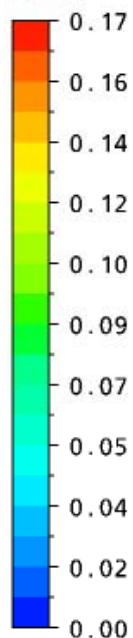
#### Расчетно-теоретическая методика определения ветровых воздействий.

#### Моделирование ветровых воздействий методами аэрогидродинамики (среда «ANSYS CFX»)



Нормативные скорости ветра.  
Ветровой район VI.

srcp  
(sigcp)

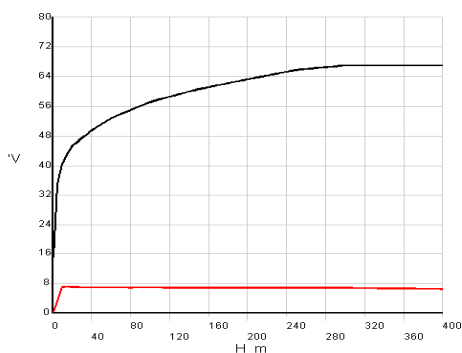


Среднеквадратичное отклонение  
аэродинамического коэффициента .

### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

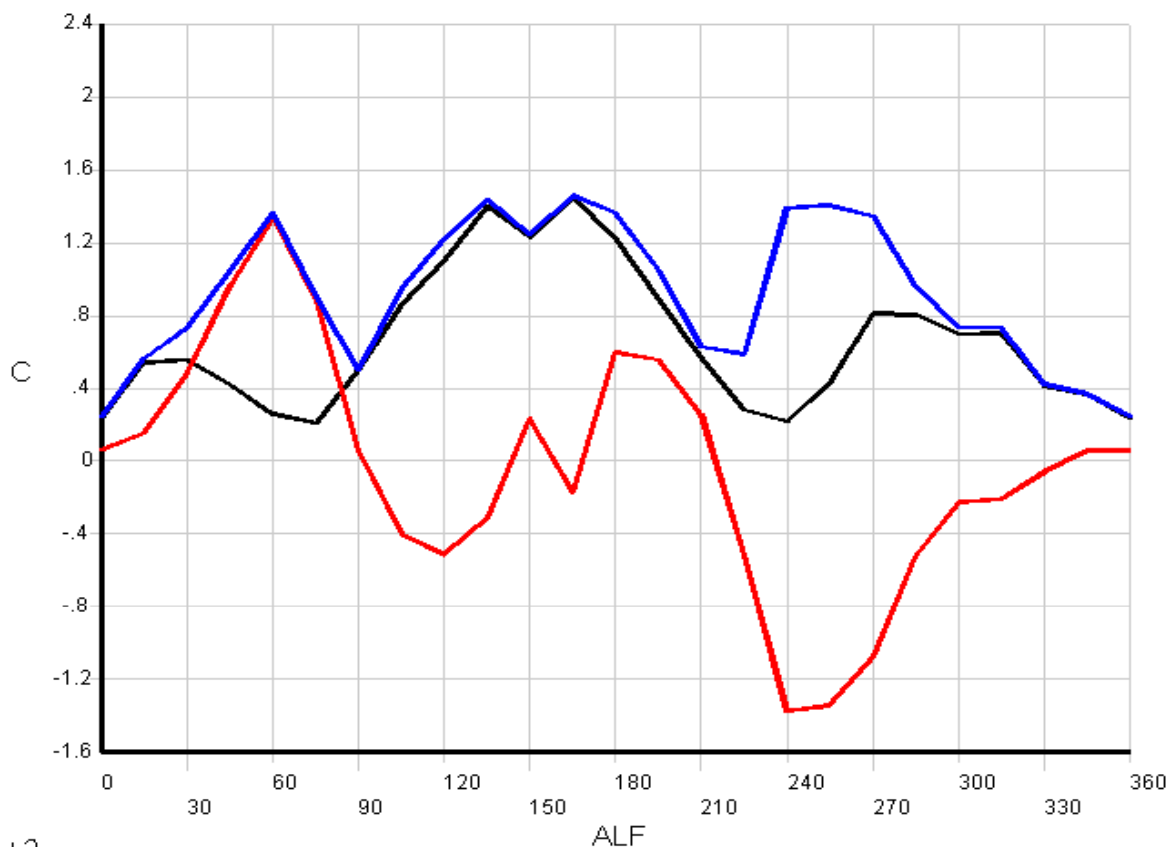
#### **Расчетно-теоретическая методика определения ветровых воздействий.**

#### **Моделирование ветровых воздействий методами аэрогидродинамики (среда «ANSYS CFX»)**



Нормативные скорости ветра.  
Ветровой район VI.

CX  
CY  
CR



DOM 1+2

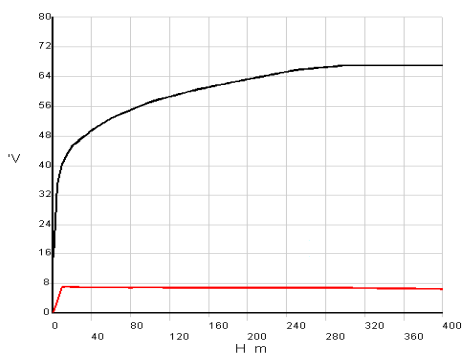
Блок 1-2.

Зависимости аэродинамических коэффициентов  $C_x$  (черная линия),  $C_y$  (красная) и  $C_r$  (синяя) от направления ветра. (0 соответствует западному, 90- северному, 180- восточному, 270- южному).

### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

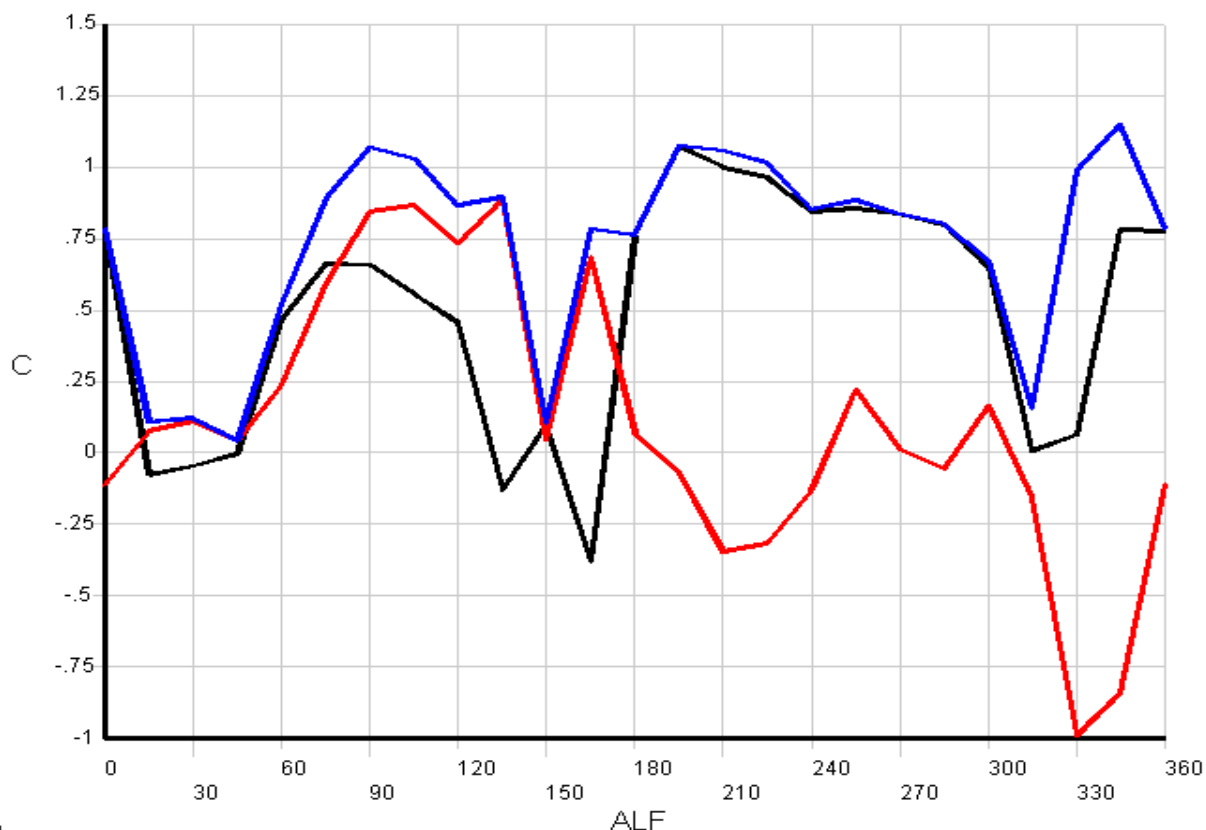
#### Расчетно-теоретическая методика определения ветровых воздействий.

#### Моделирование ветровых воздействий методами аэрогидродинамики (среда «ANSYS CFX»)



Нормативные скорости ветра.  
Ветровой район VI.

CX  
CY  
CR



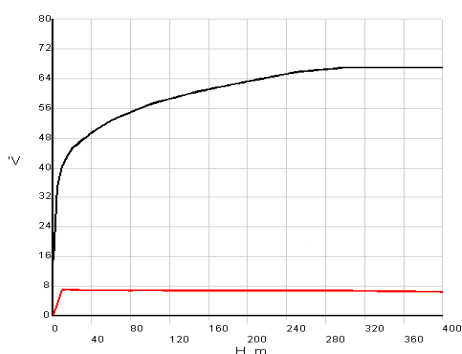
DOM 3

Блок 3.  
Зависимости аэродинамических коэффициентов  $S_x$  (черная линия),  
 $S_y$  (красная) и  $S_z$  (синяя) от направления ветра. (0 соответствует  
западному, 90- северному, 180- восточному , 270- южному) .

### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

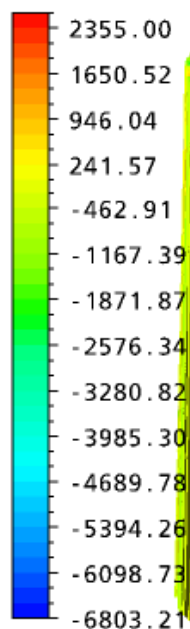
#### **Расчетно-теоретическая методика определения ветровых воздействий.**

#### **Моделирование ветровых воздействий методами аэрогидродинамики (среда «ANSYS CFX»)**

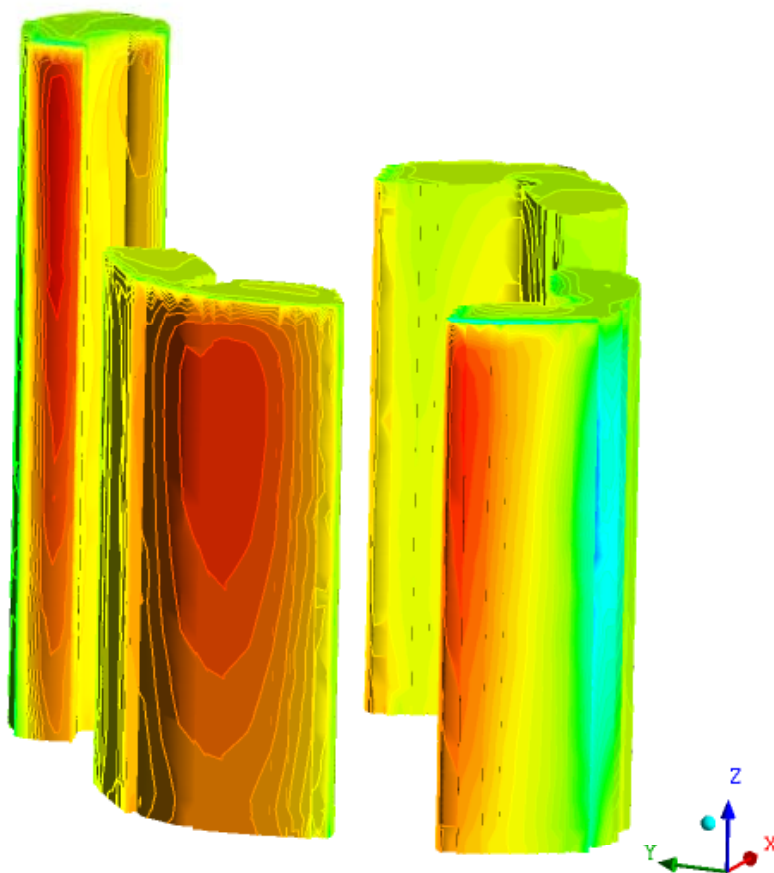


Нормативные скорости ветра.  
Ветровой район VI.

Pressure  
(pre)



[Pa]

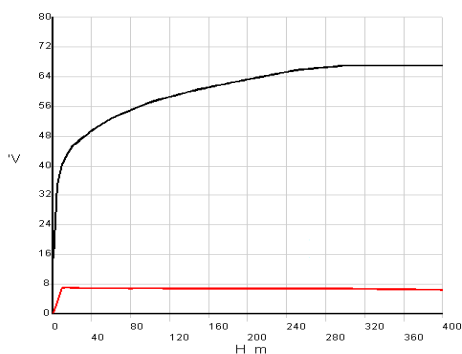


Средние давления ветра (Па).

### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

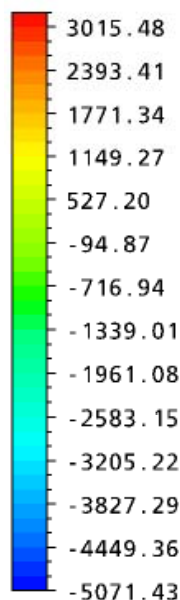
#### **Расчетно-теоретическая методика определения ветровых воздействий.**

#### **Моделирование ветровых воздействий методами аэрогидродинамики (среда «ANSYS CFX»)**

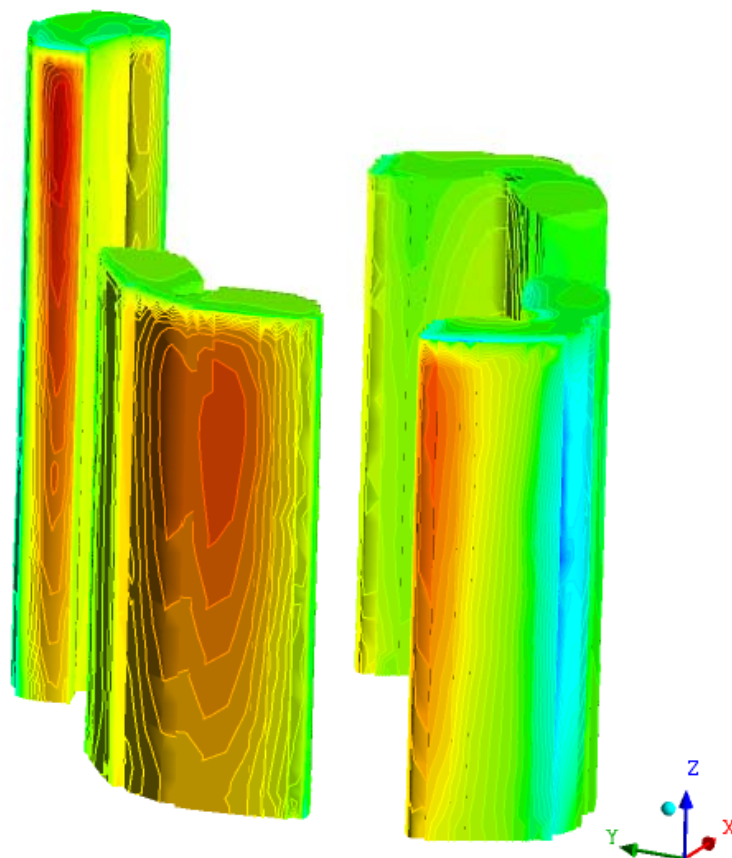


Нормативные скорости ветра.  
Ветровой район VI.

pmax  
(premax)



[Pa]



Максимальные величины давлений (Па) на  
ограждающих конструкциях.



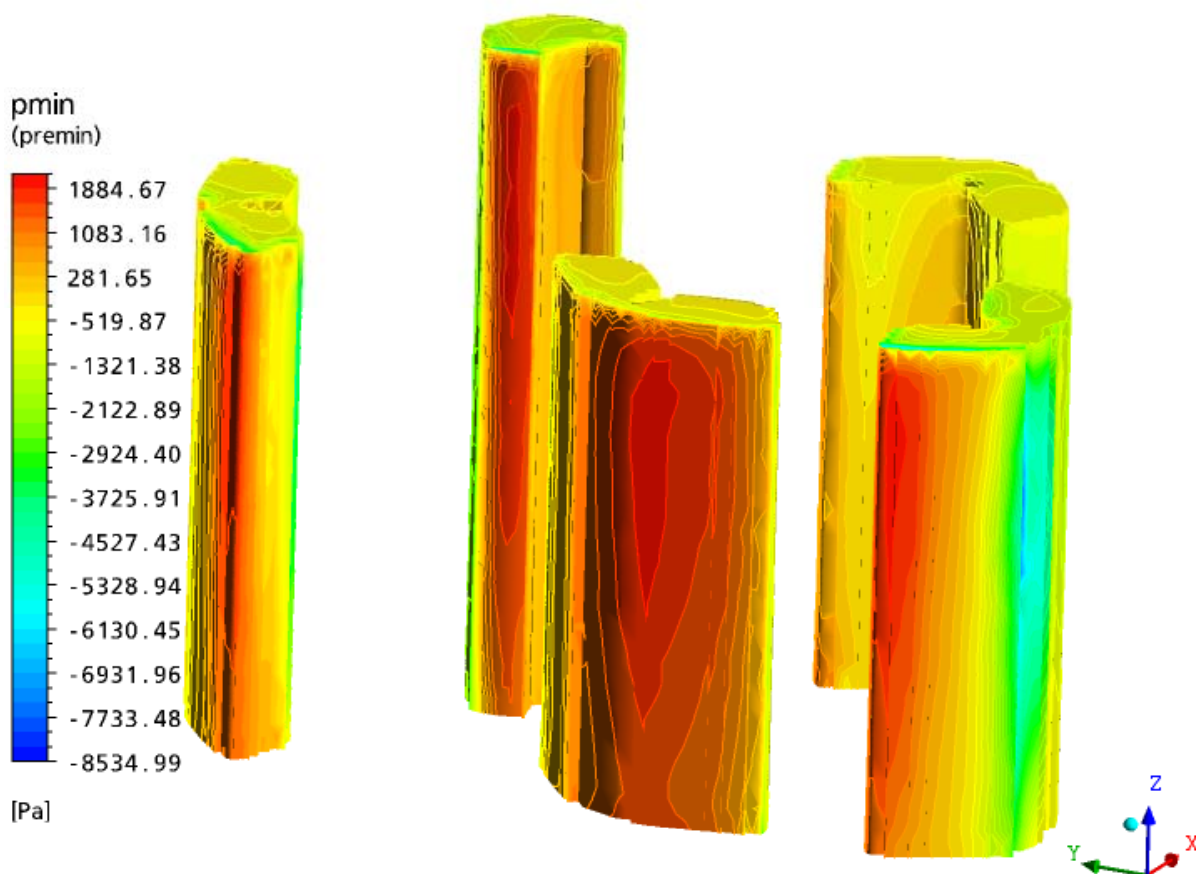
### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

#### **Расчетно-теоретическая методика определения ветровых воздействий.**

#### **Моделирование ветровых воздействий методами аэрогидродинамики (среда «ANSYS CFX»)**



Нормативные скорости ветра.  
Ветровой район VI.

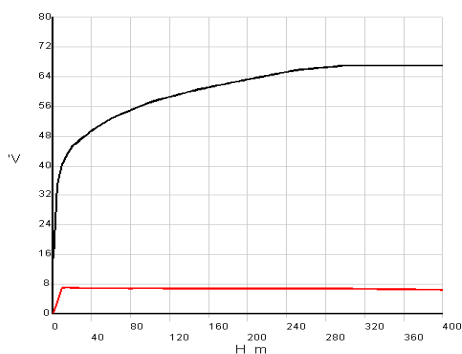


Минимальные величины давлений (Па) на  
ограждающих конструкциях.

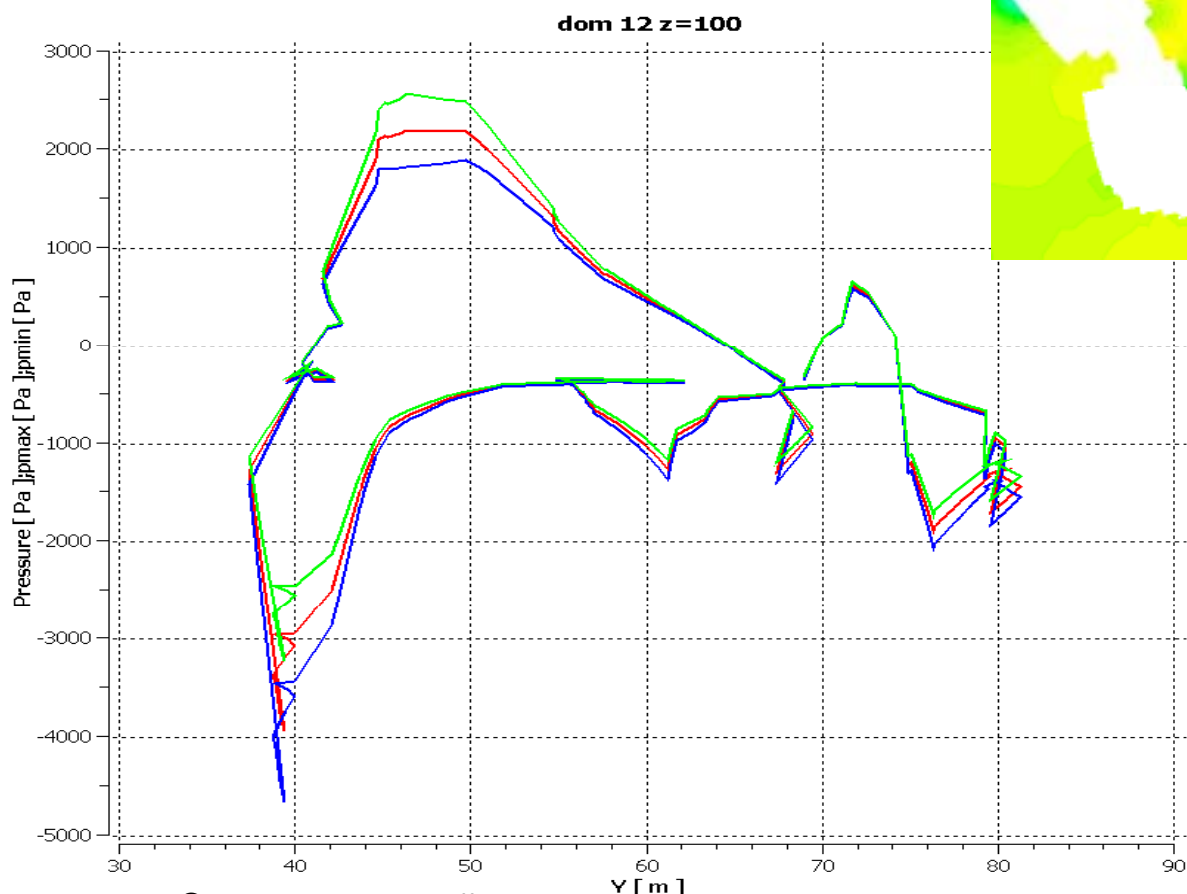
### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

#### **Расчетно-теоретическая методика определения ветровых воздействий.**

#### **Моделирование ветровых воздействий методами аэрогидродинамики (среда «ANSYS CFX»)**



Нормативные скорости ветра.  
Ветровой район VI.



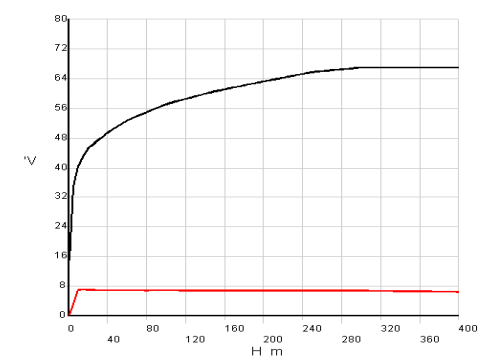
Эпюры давлений на ограждающие конструкции  
для блока 1+2.

Среднее (красная линия), минимальное (синее) и  
максимальное (зеленое) значения.

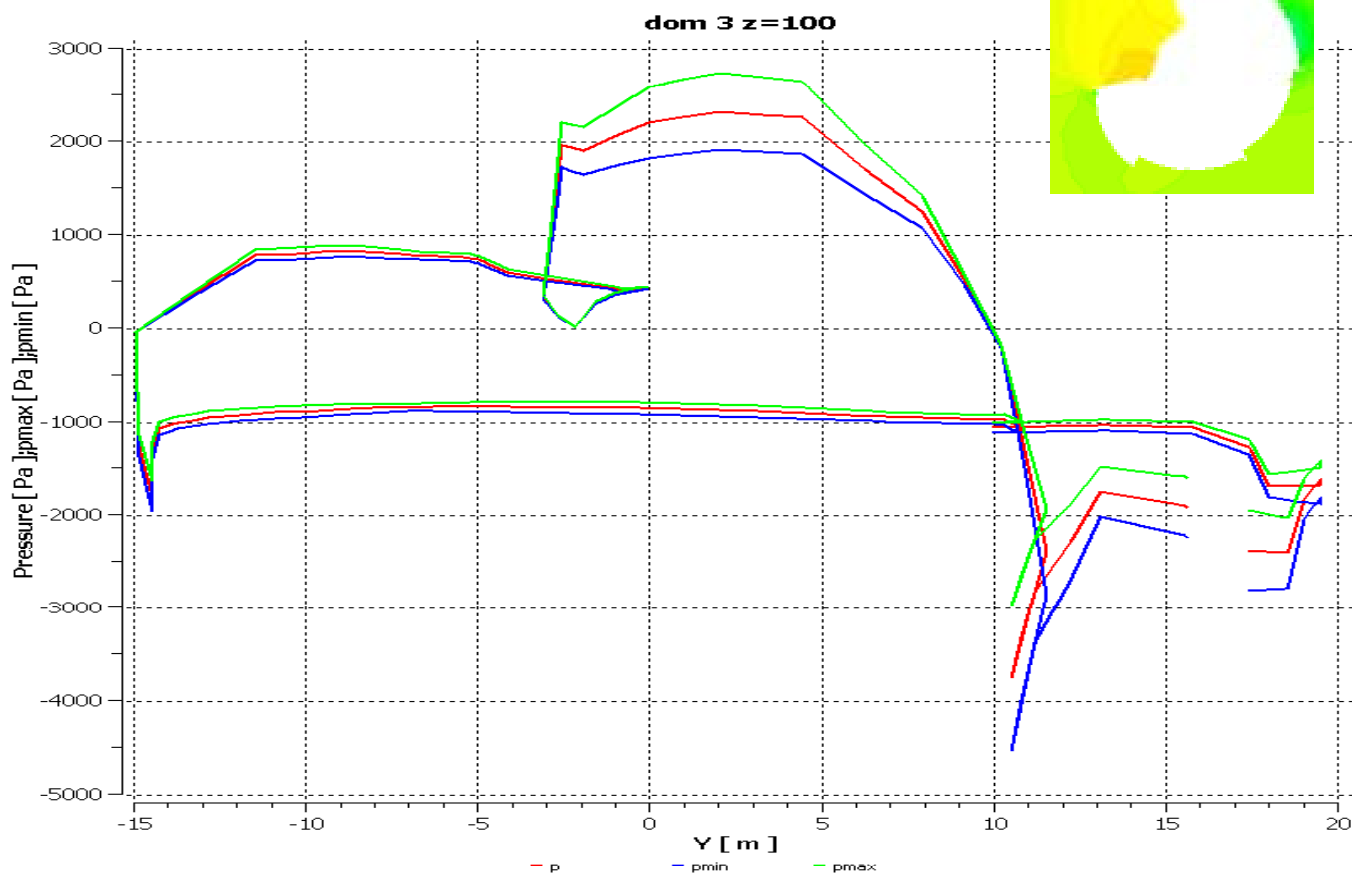
### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

#### Расчетно-теоретическая методика определения ветровых воздействий.

#### Моделирование ветровых воздействий методами аэрогидродинамики (среда «ANSYS CFX»)



Нормативные скорости ветра.  
Ветровой район VI.



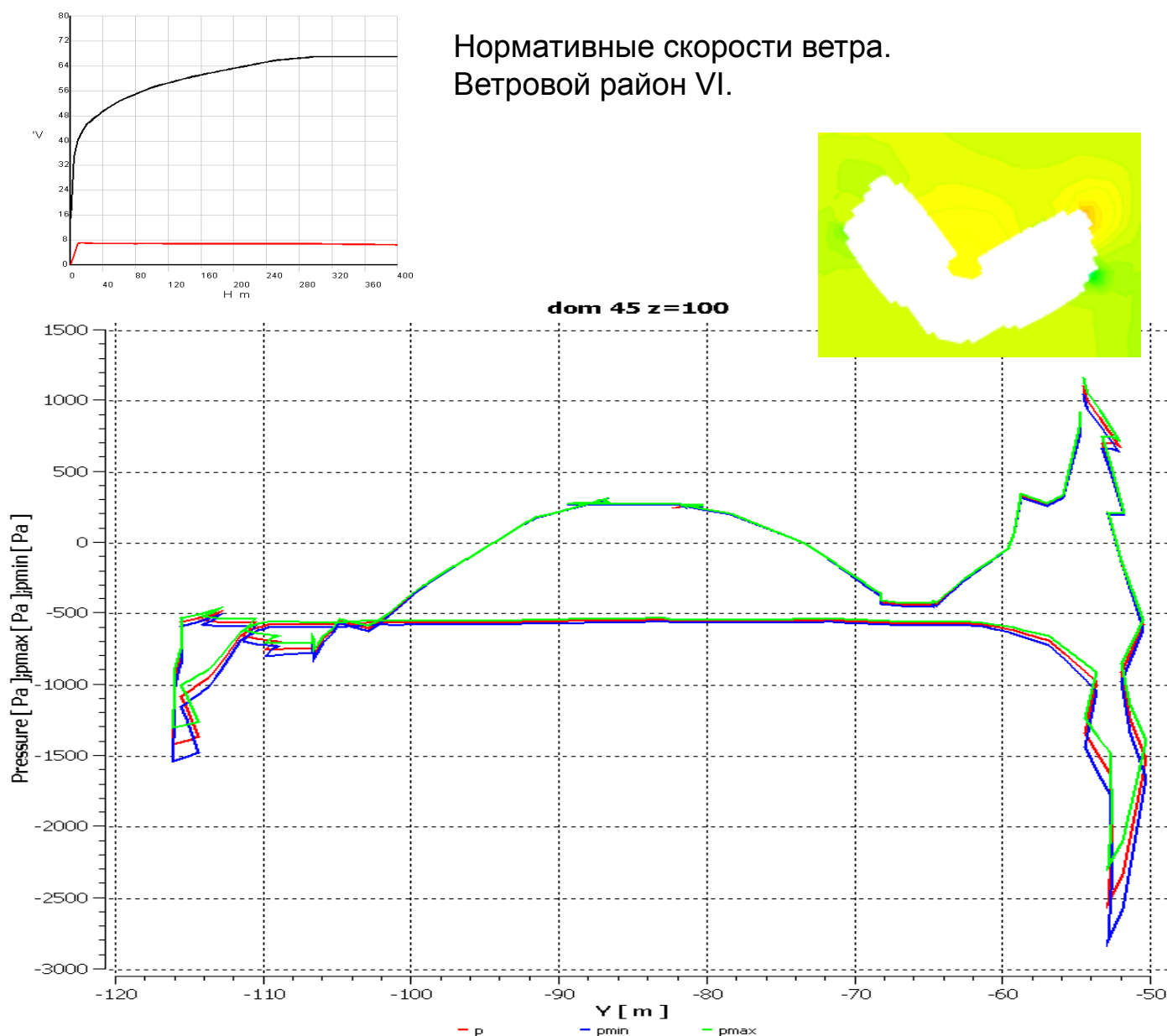
Эпюры давлений на ограждающие конструкции для блока 3.

Среднее (красная линия), минимальное (синее) и максимальное (зеленое) значения.

### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

#### **Расчетно-теоретическая методика определения ветровых воздействий.**

#### **Моделирование ветровых воздействий методами аэрогидродинамики (среда «ANSYS CFX»)**



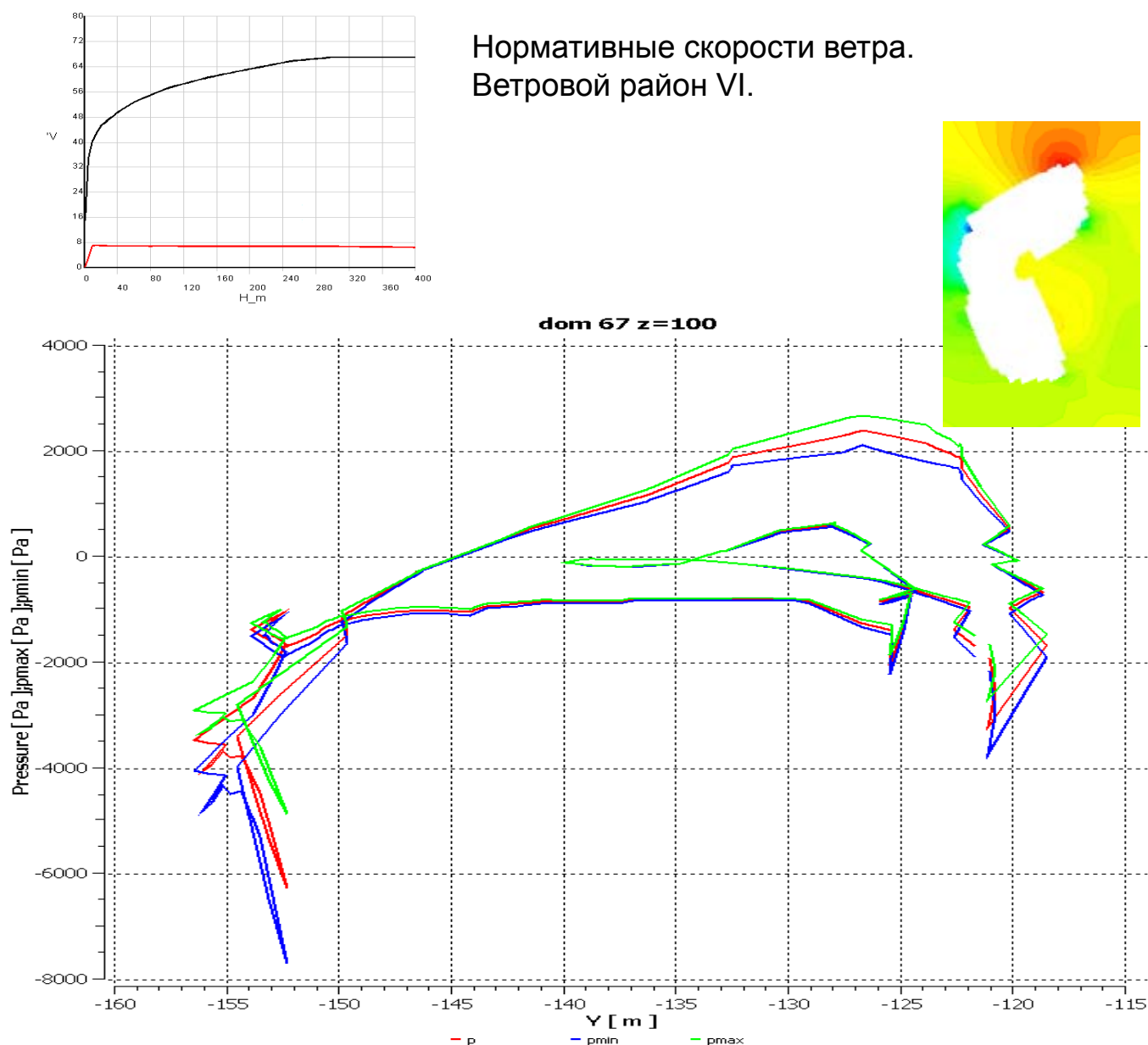
Эпюры давлений на ограждающие конструкции  
для блока 4-5.

Среднее (красная линия), минимальное (синее) и  
максимальное (зеленое) значения.

### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

#### Расчетно-теоретическая методика определения ветровых воздействий.

#### Моделирование ветровых воздействий методами аэрогидродинамики (среда «ANSYS CFX»)



Эпюры давлений на ограждающие конструкции для блока 6-7.

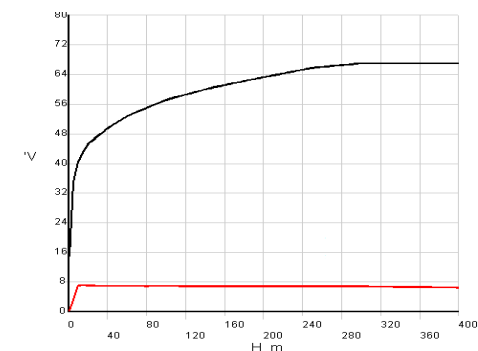
Среднее (красная линия), минимальное (синее) и максимальное (зеленое) значения.



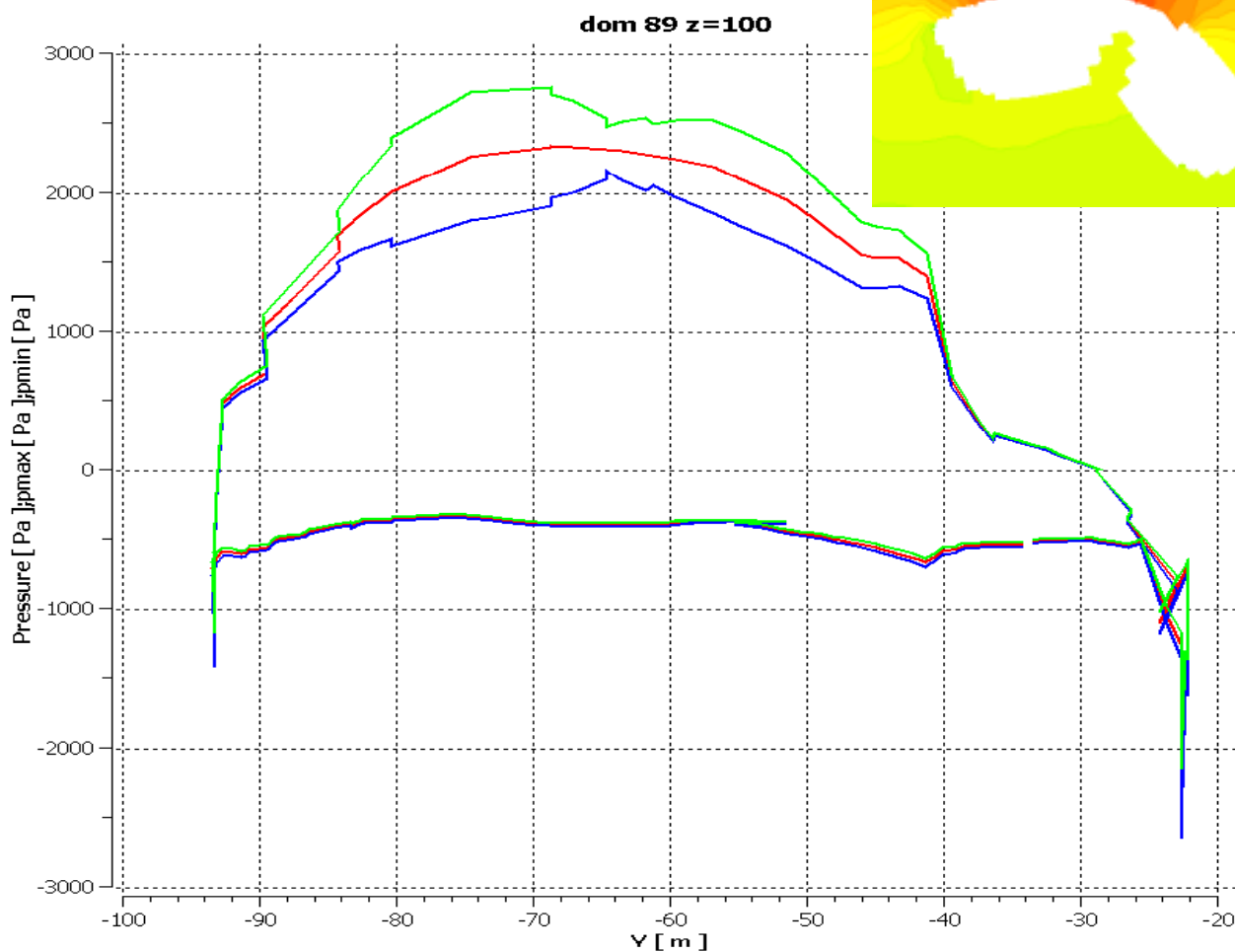
### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

## Расчетно-теоретическая методика определения ветровых воздействий.

## Моделирование ветровых воздействий методами аэрогидродинамики (среда «ANSYS CFX»)



Нормативные скорости ветра.  
Ветровой район VI.

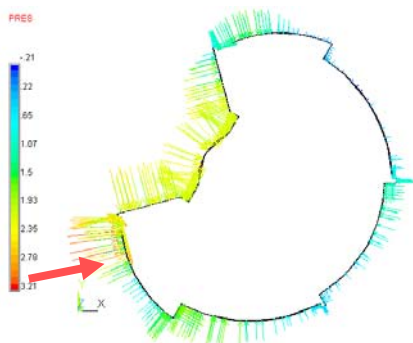
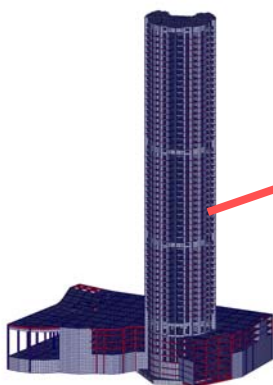


Эпюры давлений на ограждающие конструкции  
для блока 8-9.

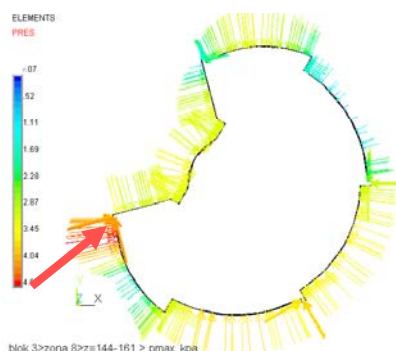
Среднее (красная линия), минимальное (синее) и  
максимальное (зеленое) значения.

### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

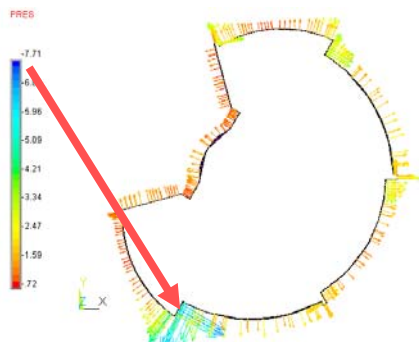
- Расчет ограждающих конструкций на ветровые воздействия с учетом локальных особенностей ветровых нагрузок.



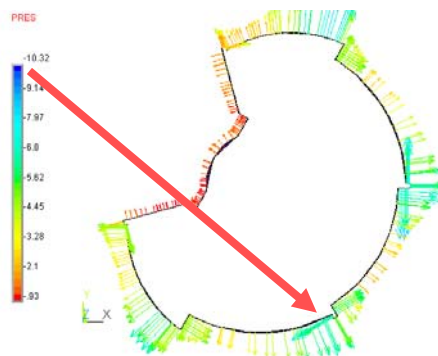
Огибающая максимальных давлений ветра (ветровое воздействие по 24 румбам) для высот до 45 м (абс. отм.)  
 $P_{\max} = 3,2 \text{ кПа}$ .



Огибающая максимальных давлений ветра (ветровое воздействие по 24 румбам) для высот 144-196 м (абс. отм.)  
 $P_{\max} = 4,6 \text{ кПа}$ .



Огибающая минимальных давлений ветра (ветровое воздействие по 24 румбам) для высот до 45 м (абс. отм.)  
 $P_{\max} = 7,7 \text{ кПа}$ .



Огибающая максимальных давлений ветра (ветровое воздействие по 24 румбам) для высот 144-196 м (абс. отм.)  
 $P_{\max} = 10,3 \text{ кПа}$ .

### **3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.**

#### **Методы расчета несущих конструкций многоэтажных и высотных железобетонных зданий**

##### **Аналитические («точные») методы:**

- Расчет стержневых систем – методы строительной механики;
- Расчет пластинчатых систем – методы теории упругости;

**Не имеют технологии «быстрого» решения!**

##### **Численные методы (приближенные):**

- **Метод конечных элементов (МКЭ) – основной метод расчета строительных конструкций.**

Концепция МКЭ – дискретизация (разбивка) рассчитываемой системы на отдельные конечные элементы (КЭ), объединенные общими узлами.

В дискретной модели – система кусочно-непрерывных функций, определенных на области узлов рассчитываемой системы.

**Технологическое удобство формирования расчетной модели.**

**Разработаны технологии «быстрого» решения.**

### **3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.**

Расчет при помощи Метода Конечных Элементов.

#### **Метод конечных элементов:**

- **Библиотека КЭ** (стержень, пластины, массивные тела, КЭ конечной жесткости и т.п.) – адекватная аппроксимация основных типов конструктивных элементов зданий и сооружений;
- **Учет совместного деформирования** сложных систем, состоящих из различных типов конструктивных элементов (колонны, балки, плиты стержни, пластины);
- **Учет сложной структуры** конструктивных элементов (различные физико-механические характеристики, наличие отверстий, изменение сечений, закрепление (опоры) различного типа;
- **Учет вида нагружения** (распределенное, сосредоточенное, статическое динамическое и т.п.);
- **Учет особенностей узлов** соединения и положения конструктивных элементов (наличие абсолютно жестких участков КЭ, выравнивание КЭ по плоскости, по грани, по положению КЭ в общей системе.

В КЭ стержень и во всех КЭ плиты и оболочки предусмотрен учет упругого основания.

В общем случае реализована двухпараметрическая модель упругого основания, контактирующего с конструкцией (Леонтьева-Власова, Пастернака). При этом в самом общем случае задаются следующие величины:

- $C_1$  - коэффициент, характеризующий работу упругого основания на сжатие;
- $C_{2x}$ ;  $C_{2y}$  - коэффициенты, характеризующие работу упругого основания на сдвиг при расположении площадки сдвига перпендикулярно осям  $X_1$  и  $Y_1$  местной системы координат элемента соответственно. Для изотропного упругого основания  $C_{2x} = C_{2y}$ .

При отсутствии данных о значении коэффициента постели  $C_2$  (его значение равно 0) автоматически реализуется переход к модели упругого основания Винклера с одним коэффициентом постели  $C_1$ .

**Более точный метод учета работы упругого основания осуществляется по методике В.Г. Федоровского с переменным значением  $C_1$ .**

### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

Расчет при помощи Метода Конечных Элементов.

Библиотека КЭ: стержень

Глобальные  
оси модели

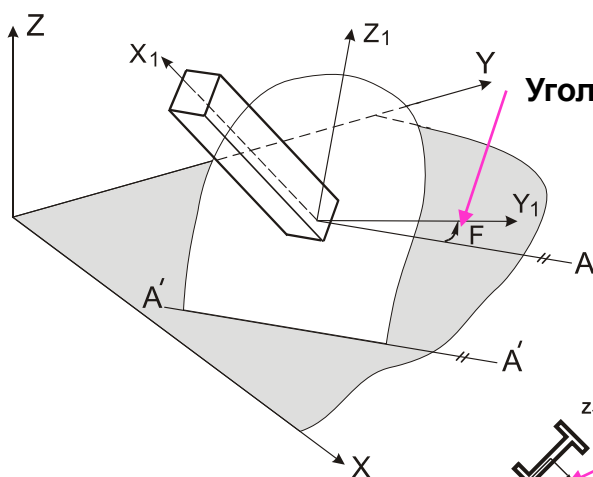
Конец стержня

Начало стержня

Абсолютно жесткая вставка  
в начале стержня

Абсолютно жесткая вставка  
в конце стержня

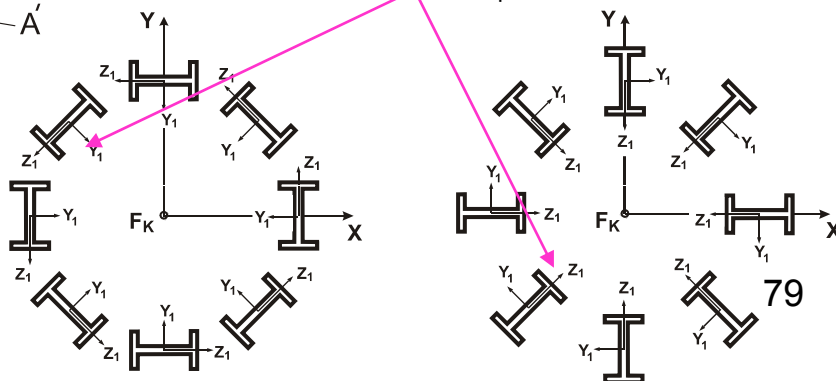
Упругая часть стержня



Угол ориентации сечения стержня

Направление ориентации  
Местной оси сечения стержня  
к выбранной точке

Местная ось  $Y_1$  сечения стержня  
к выбранной точке  $F_k$



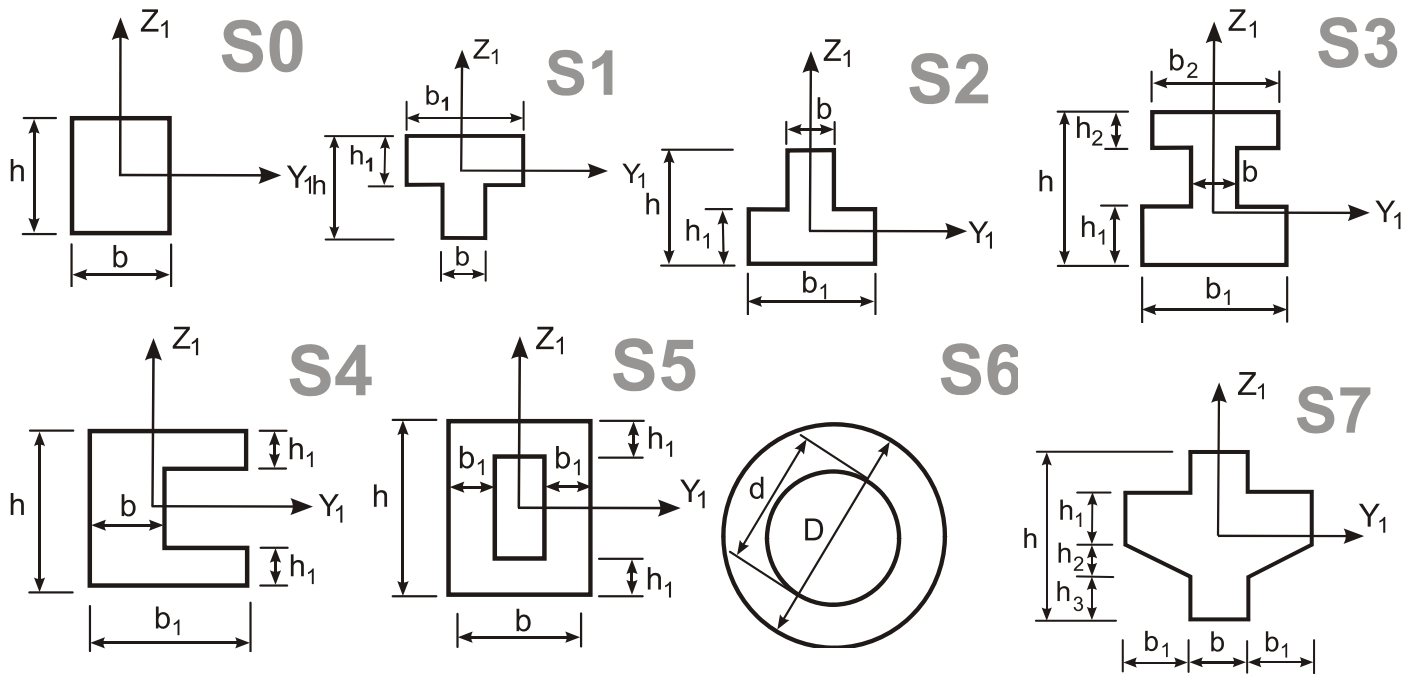


### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

Расчет при помощи Метода Конечных Элементов.

Библиотека КЭ: стержень

**Параметрические сечения стержня:**



### **3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.**

Расчет при помощи Метода Конечных Элементов.

#### **Библиотека КЭ: пластина (плита; оболочка)**

##### **Класс решаемых задач**

Плоские конечные элементы, описанные в данном разделе, ориентированы на решение следующих типов задач теории упругости :  
анализ плоского напряженного состояния;  
анализ плоской деформации;  
изгиб тонких пластин;  
изгиб пластин по теории Рейсснера-Миндлина;  
расчет пологих оболочек.

##### **Учет упругого основания**

Во всех конечных элементах плиты и оболочки предусмотрен учет упругого основания. Следует отметить, что учет упругого основания производится только вдоль оси  $Z_1$ . В общем случае реализована двухпараметрическая модель упругого основания, контактирующего с конструкцией (Леонтьева-Власова, Пастернака) [4]. При этом в самом общем случае задаются следующие величины:

$C_1$  — коэффициент, характеризующий работу упругого основания на сжатие;

$C_{2X}$ ,  $C_{2Y}$  — характеризуют работу упругого основания на сдвиг при расположении площадки сдвига перпендикулярно осям  $X_1$  и  $Y_1$  местной системы координат элемента соответственно. Для изотропного упругого основания  $C_{2X} = C_{2Y}$ ;

$C_{2XY}$  — характеризует работу упругого основания на кручение в плоскости  $X_1OY_1$  местной системы координат элемента. Для изотропного и ортотропного упругого основания  $C_{2XY} = 0$ .

При отсутствии данных о значении коэффициента постели  $C_2$  (его значение равно 0) автоматически реализуется переход к модели упругого основания Винклера с одним коэффициентом постели  $C_1$ .

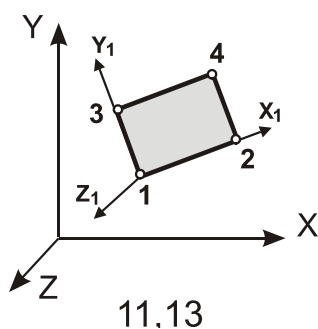
**Более точный метод учета работы упругого основания осуществляется по методике В.Г. Федоровского с переменным значением  $C_1$ .**

### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

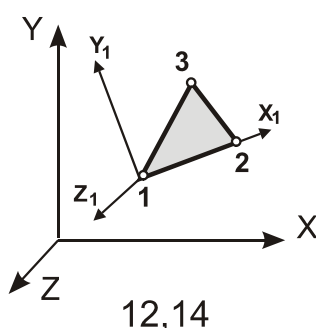
Расчет при помощи Метода Конечных Элементов.

Библиотека КЭ: пластина (плита; оболочка)

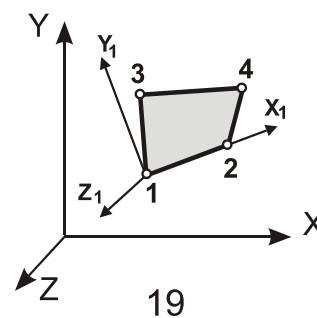
#### КЭ для расчета изгибаемых пластин



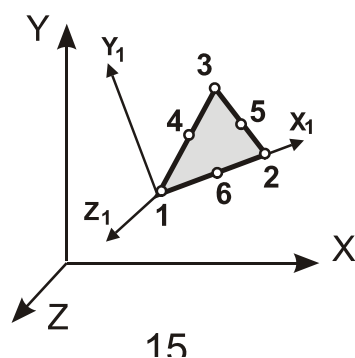
КЭ №11; 13 –  
прямоугольный  
четырёхузловой



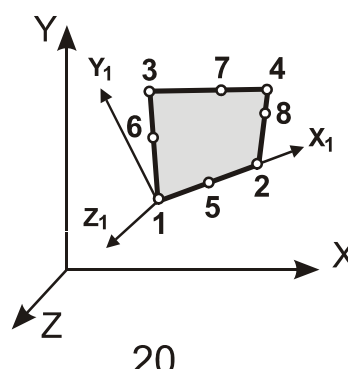
КЭ №12; 14 – треугольный  
трехузловой



КЭ №19 – четырёхугольный  
четырёхузловой



КЭ №15 – треугольный с  
числом узлов от 3 до 6



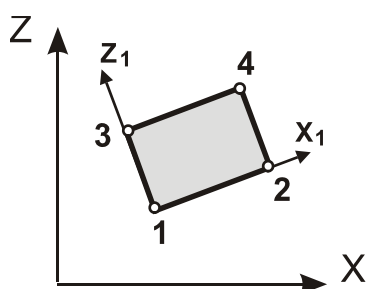
КЭ №20 – четырёхугольный  
с числом узлов от 4 до 8

### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

Расчет при помощи Метода Конечных Элементов.

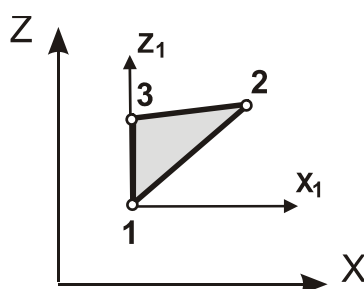
Библиотека КЭ: пластина (плита; оболочка)

#### КЭ для расчета плоско-деформируемой и плоско-напряженной задач теории упругости



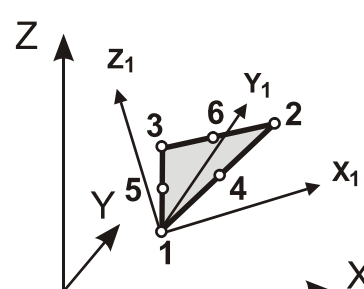
21

КЭ №21 – прямоугольный четырехузловой (плоскость XOZ)



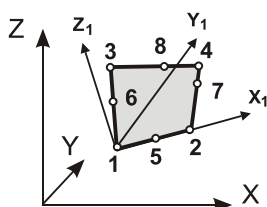
22

КЭ №22 – треугольный трехузловой (плоскость XOZ)



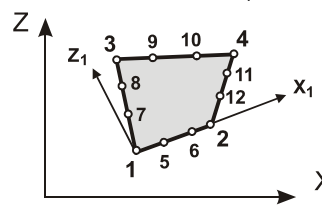
25

КЭ №25 – треугольный с числом узлов от 3 до 6 (плоскость XOZ)



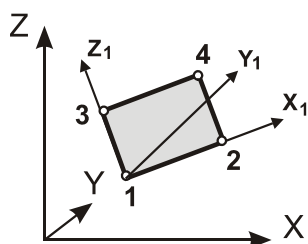
30

КЭ №30 – четырехугольный с числом узлов от 4 до 8 (плоскость XOZ)



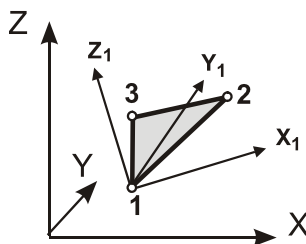
29

КЭ №29 – четырехугольный с числом узлов от 4 до 12 (плоскость XOZ)



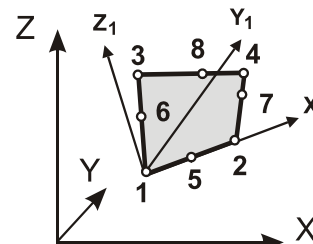
23

КЭ №23 – прямоугольный четырехузловой (положение – любое)



24

КЭ №24 – треугольный трехузловой (положение – любое)



27

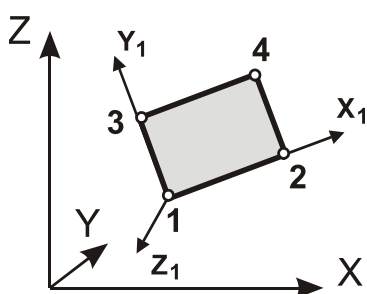
КЭ №27 – четырехугольный с числом узлов от 4 до 8 (положение – любое)

### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

Расчет при помощи Метода Конечных Элементов.

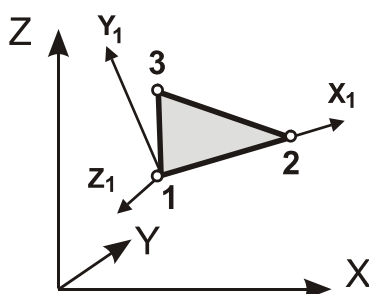
Библиотека КЭ: пластина (плита; оболочка)

#### КЭ для расчета пологих оболочек



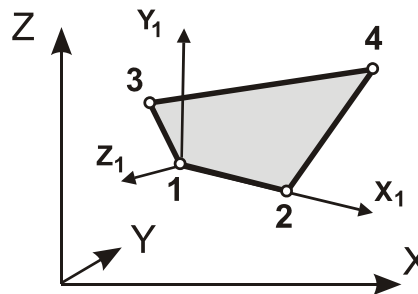
41

КЭ №41 – прямоугольный четырехузловой



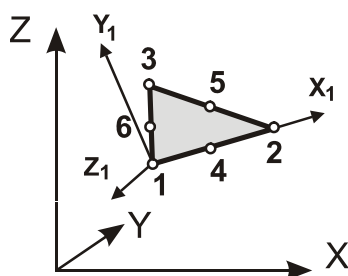
42

КЭ №42 – треугольный трехузловой



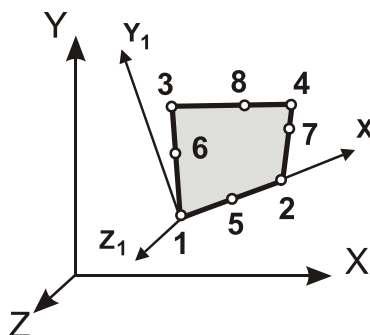
44

КЭ №44 – четырехугольный четырехузловой



45

КЭ №45 – треугольный с числом узлов от 3 до 6



50

КЭ №29 – четырехугольный с числом узлов от 4 до 8

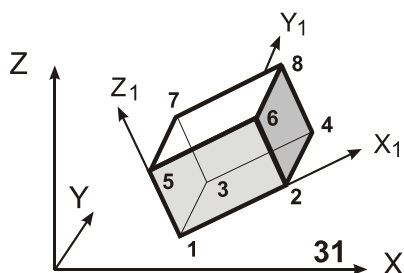


### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

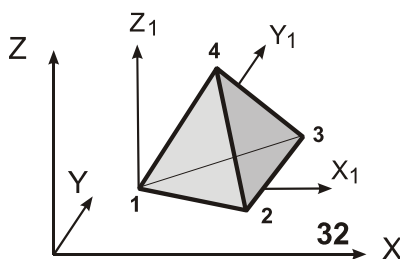
Расчет при помощи Метода Конечных Элементов.

Библиотека КЭ: пластина (плита; оболочка)

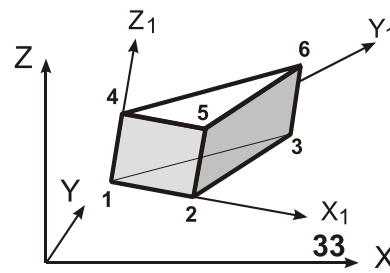
КЭ для расчета пространственных задач теории упругости



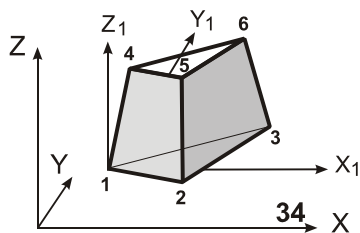
КЭ №31 – параллелепипед



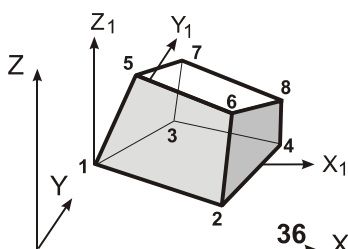
КЭ №32 – тетраэдр



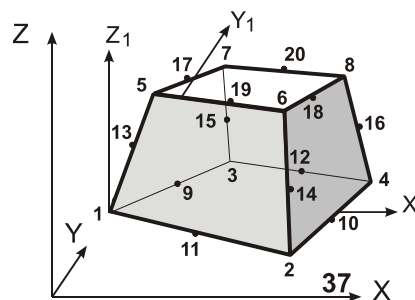
КЭ №33 – трехгранная призма



КЭ №34 – пространственный изопараметрический шестиузловой конечный элемент

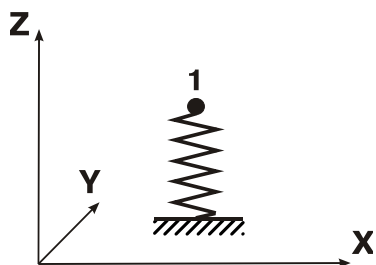


КЭ №36 – пространственный изопараметрический восьмиузловой конечный элемент



КЭ №37 – пространственный изопараметрический двадцатиузловой конечный элемент

**КЭ, моделирующий связи конечной жесткости (тип КЭ — 51)**



Этот КЭ применяется для введения связи конечной жесткости (пружины) по направлению одной из степеней свободы в общей системе координат и может использоваться, например, для моделирования упругого основания. Связи конечной жесткости задаются только по направлению осей общей системы координат.

Размерность – тонна (количество тонн, необходимых для перемещения узла 1 на 1 метр)

### **3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.**

Расчет при помощи Метода Конечных Элементов.

#### **«Особенности» Метода Конечных Элементов**

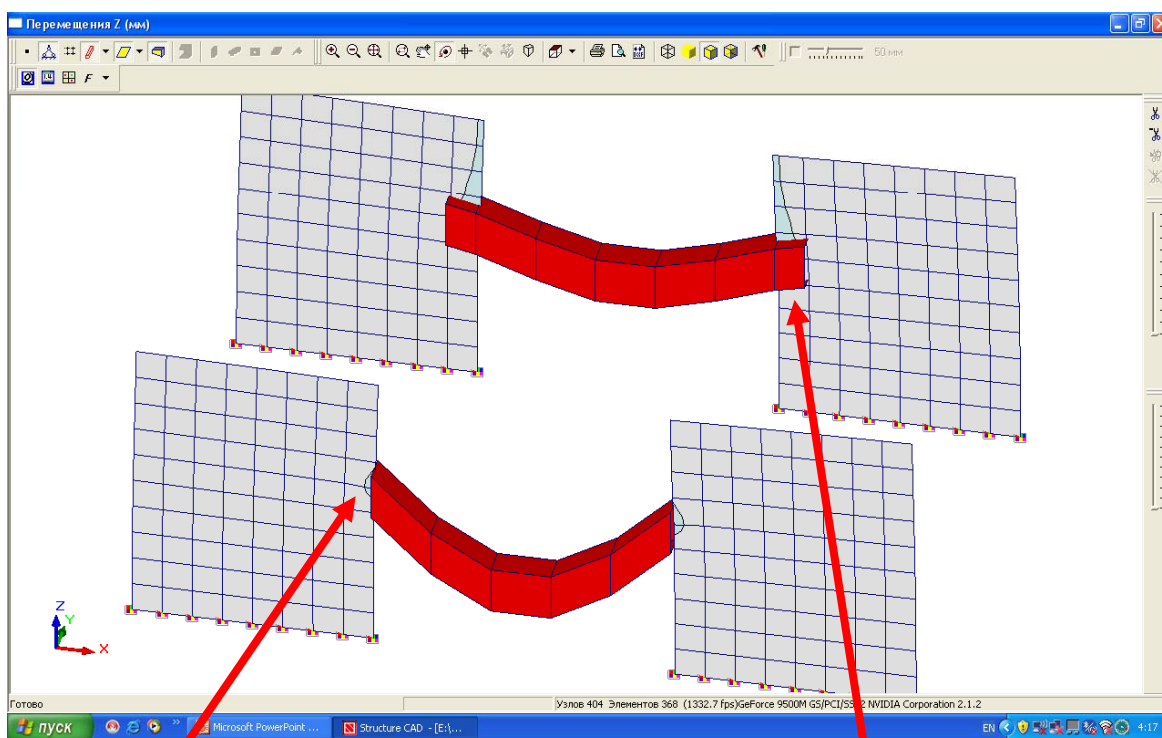
Стыковка разнородных КЭ (стержень – пластина) в одной модели

##### **Стержень (общего типа)**

В узлах элементов определено по шесть степеней свободы —  $U$ ,  $V$ ,  $W$ ,  $UX$ ,  $UY$  и  $UZ$  (три линейных перемещения вдоль и три угла поворота вокруг координатных осей).

##### **Пластина**

В узлах элементов определено по шесть степеней свободы —  $U$ ,  $V$ ,  $W$ ,  $UX$ ,  $UY$  и  $UZ$  (три линейных перемещения вдоль и три угла поворота вокруг координатных осей). Степени свободы  $U$ ,  $V$  отвечают мембранным, а  $W$ ,  $UX$ ,  $UY$  — изгибным деформациям. **Угол поворота  $UZ$  в местной системе координат элемента всегда равен нулю.** Он вводится для стыковки элементов, не лежащих в одной плоскости, и необходим для учета пространственной работы конструкции.



**Вариант соединения КЭ  
«стержень» - «пластина» -  
шарнир на концах стержня  
(отсутствие момента)**

**Вариант соединения КЭ  
«стержень» - «пластина» с  
заведением стержня в тело  
пластины на 2 узла -  
зачемление стержня в  
пластине (в стержне -  
моментная группа усилий)**

### **3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.**

## **Общие принципы построения расчетных моделей многоэтажных и высотных железобетонных зданий**

«...точно знают, только когда мало знают.  
Вместе со знанием растет сомнение».

Гёте

«Для инженера искусство выбора расчетной  
схемы является очень важным. Этому  
искусству нигде специально не учат.»

В.И. Федосьев

Основа проектирования несущих  
конструкций - это знание (прогноз)  
напряженно-деформированного состояния  
(НДС) как в отдельном конструктивном  
элементе, так и в системе (здании) в целом.

**Конструктивное решение здания >  
Расчетная модель конструкций >  
Расчет >  
Прогноз НДС >  
Конструирование (общая схема,  
элемент, узел...)**

### **3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.**

## **Общие принципы построения расчетных моделей многоэтажных и высотных железобетонных зданий**

### **Методы расчета:**

- классические (аналитические);
- численные (МКЭ; МКР и т.п.);
- метод предельного равновесия;...

### **МКЭ:**

- Дискретно-континуальные модели;
- Библиотека КЭ и правила их комбинирования;
- Линейный и нелинейный методы расчета;
- Принцип суперпозиции и принцип расчетных сочетаний нагрузок.

### **Основные этапы расчета:**

- создание модели;
- выбор расчетного метода (программного комплекса) для реализации расчета;
- проверка модели;
- расчет;
- верификация результатов.

### **3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.**

## **Общие принципы построения расчетных моделей многоэтажных и высотных железобетонных зданий**

### **Прогноз НДС и количество расчетных моделей.**

- Общие («глобальные») расчетные модели;
- Частные расчетные модели отдельных конструкций и групп конструкций;
- Фрагментация моделей.

### **Общие («глобальные») расчетные модели**

- Возможность анализа взаимодействия всех конструктивных элементов здания;
- Расчет на динамические воздействия;
- Учет пространственного характера здания в процессе взаимодействия с внешними воздействиями (ветер и т.п.).
- Учет истории возведения и приложения нагрузок (воздействий).

### **Частные расчетные модели отдельных конструкций и групп конструкций:**

- Расчетные модели перекрытий;
- Расчетные модели нижних и верхних ярусов несущих конструкций зданий;
- Расчетные модели ограждающих конструкций (при расчете на ветровые воздействия:



### **3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.**

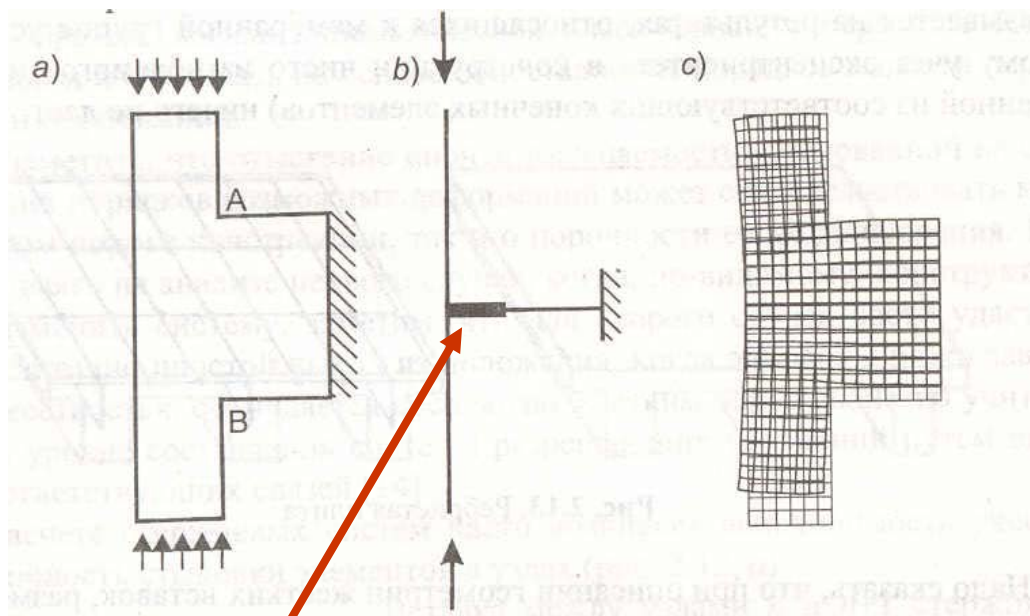
## **Общие принципы построения расчетных моделей многоэтажных и высотных железобетонных зданий**

### **Формирование расчетной модели:**

Выделение из объекта несущей части и элементов, влияющих на несущие конструкции.

- Геометрическое моделирование;
- Идеализация связей между элементами конструкции (внутренние связи) и внешней средой (внешние связи);
- Идеализация материала конструкции;
- Идеализация нагрузок и воздействий

### **Геометрическое моделирование:**



Абсолютно жесткая  
вставка

Модель из  
стержневых КЭ

Модель из  
пластинчатых КЭ

### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

## Общие принципы построения расчетных моделей многоэтажных и высотных железобетонных зданий

### Формирование расчетной модели:

**Идеализация связей между элементами конструкции (внутренние связи) и внешней средой (внешние связи):**

| Вид соединения                                                                                       | Сдвиг                                                                                                         | Схема соединения | Величина податливости $\lambda_{сд}$ , см/кгс                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Замоноличенный уступ стеновой панели с площадью смятия $F$                                        | Между стеновой панелью и бетоном замоноличивания с модулем упругости $E_{\delta_2}$                           |                  | $\frac{50}{E_{\delta_2} F}$                                                  |
| 2. Соединительный арматурный анкерный стержень или стержень выпуска диаметром $d$ , пересекающий шов | Между панелью с модулем упругости $E_{\delta_1}$ и бетоном замоноличивания с модулем упругости $E_{\delta_2}$ |                  | $\frac{6}{d} \left( \frac{1}{E_{\delta_1}} + \frac{1}{E_{\delta_2}} \right)$ |

Формула податливости стыкового соединения конструктивных элементов

| Конструкция стыка (размеры в см) | Марка бетона |                 | Армирование шпонки | Податливость стыка сдвигу $\lambda_{сд}$ , см/кгс | Примечание                                                  |
|----------------------------------|--------------|-----------------|--------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
|                                  | панели       | замоноличивания |                    |                                                   |                                                             |
|                                  | 400          | 250             | 2Ø12               | $0,22 \cdot 10^{-5}$                              | Панели и замоноличивание стыка выполнены из тяжелого бетона |
|                                  |              | 300             | 2Ø12               | $0,20 \cdot 10^{-5}$                              |                                                             |
|                                  |              | 350             | 2Ø12               | $0,18 \cdot 10^{-5}$                              |                                                             |
|                                  | 350          | 350             | 2Ø8                | $0,4 \cdot 10^{-5}$                               | То же                                                       |

Численное значение податливости стыкового соединения конструктивных элементов

### **3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.**

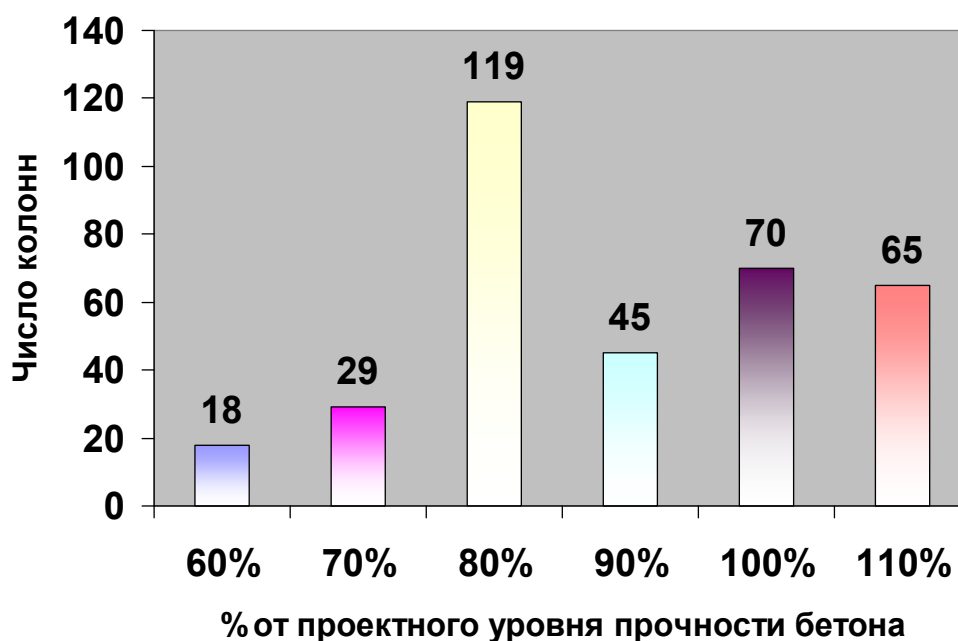
Общие принципы построения расчетных моделей многоэтажных и высотных железобетонных зданий

#### **Формирование расчетной модели:**

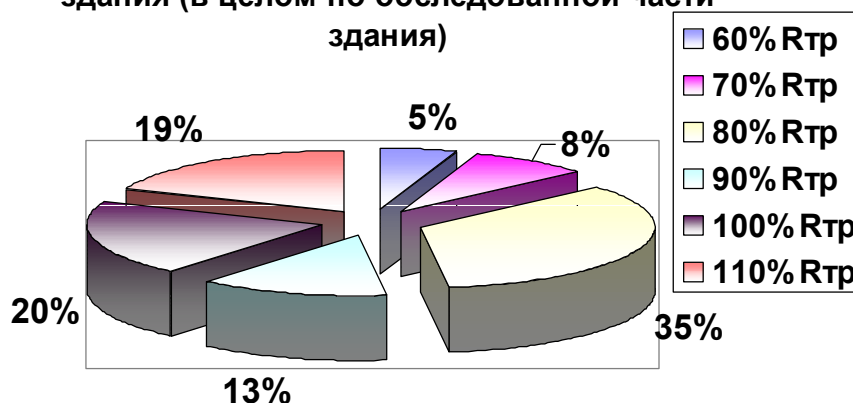
##### **Идеализация материала конструкции:**

Разброс физико-механических характеристик материалов конструкций, отклонения от проектных рамеров и т.п.

**Распределение показателя прочности колонн служебного здания (в целом по обследованной части здания)**



**Распределение показателя прочности колонн (% от числа колонн) служебного здания (в целом по обследованной части здания)**



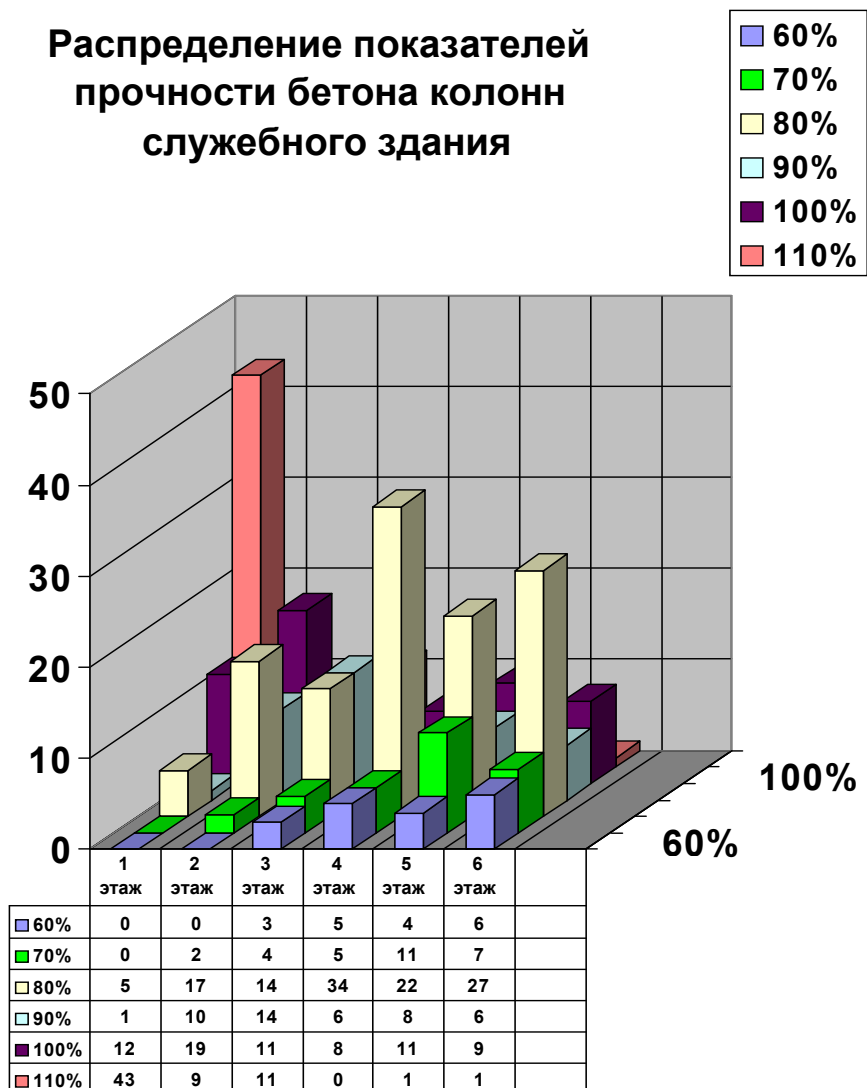
### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

## Общие принципы построения расчетных моделей многоэтажных и высотных железобетонных зданий

### Формирование расчетной модели:

### Идеализация материала конструкции:

Распределение показателей прочности бетона колонн служебного здания



### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

**Общие принципы построения расчетных моделей многоэтажных и высотных железобетонных зданий**

#### Формирование расчетной модели:

**Идеализация нагрузок и воздействий:**

## **Модель воздействия.**

#### Традиционные модели загрузки:

**Существенная  
идеализация  
(абстракция)**

- Равномерно распределенная нагрузка;
- Сосредоточенная сила;
- Сейсмическое воздействие (спектральный метод);
- Ветровые воздействия (в том числе с учетом пульсационной составляющей);
- Импульсное воздействие;
- Гармоническая осциляция...

### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

## Расчетные модели монолитных железобетонных перекрытий.

### Технология принятия конструктивных решений перекрытий и основных расчетных проверок моделей перекрытий

#### Назначение толщин перекрытий:

- $\text{Min } 1/25 - 1/33 L$  – критерий: деформации – прогибы];
- Продавливание [ $Q_{\text{max}} < 1,8 (2,0) Q_b$ ];

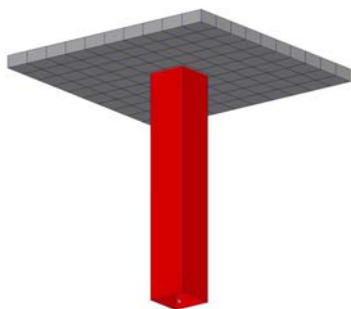




### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

## Расчетные модели монолитных железобетонных перекрытий.

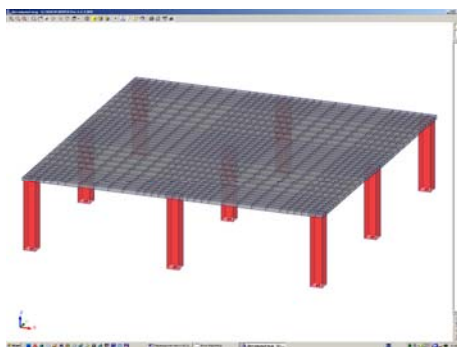
**Стыковка разнородных КЭ – Стержень + пластина.  
Монолитные железобетонные безригельные  
перекрытия с бескапительным стыком.**



**Тривиальная модель  
безригельного перекрытия с  
бескапительным стыком**

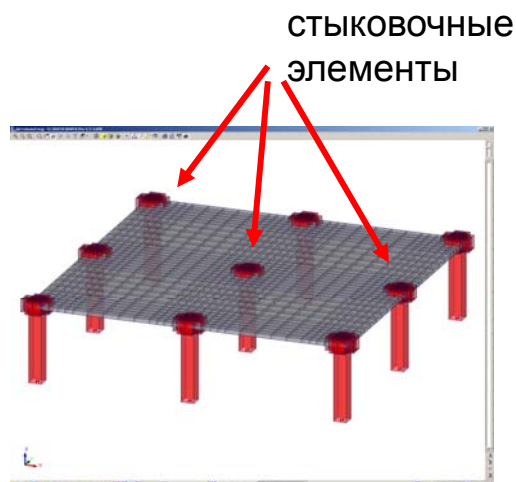
### «Опасности»:

- Реакция опирания пластины на колонну – суть сосредоточенная сила, приложенная в узел системы КЭ. Метод КЭ не дает удовлетворительного решения;
- Угол поворота UZ1 в КЭ пластин не полностью определен – возможен взаимный «поворот» стержня и пластины.



Модель тип 1

«Тривиальный» стык  
стержень + пластина



Модель тип 2

Стык стержень +  
стыкочные  
элементы +  
пластина

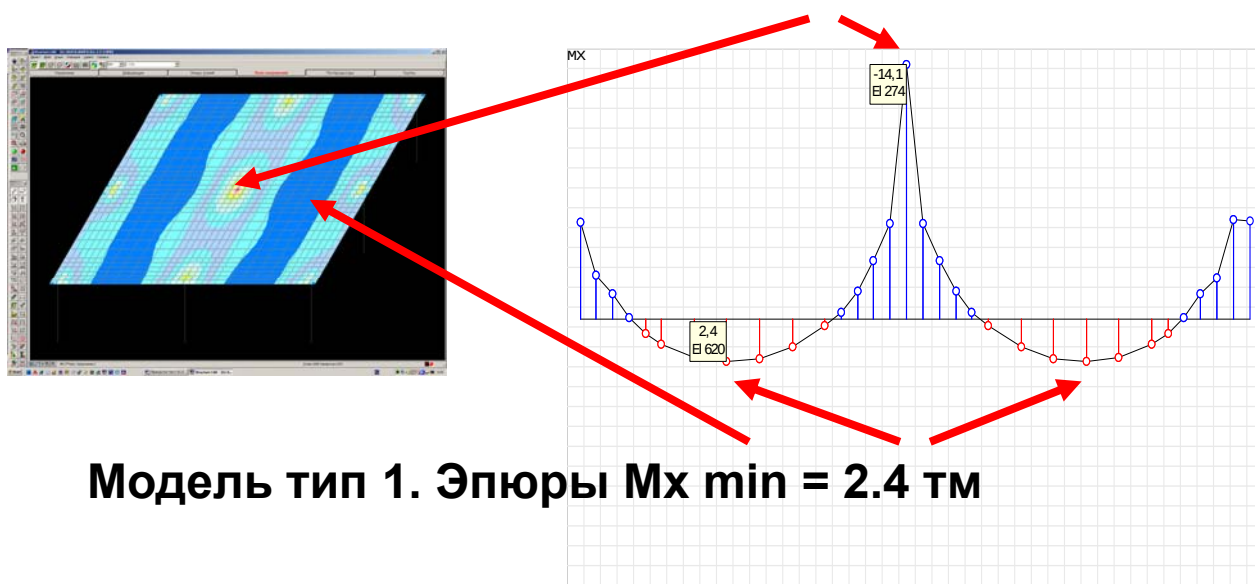
### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

Расчетные модели монолитных железобетонных безригельных перекрытий.

Стыковка разнородных КЭ – Стержень + пластина.

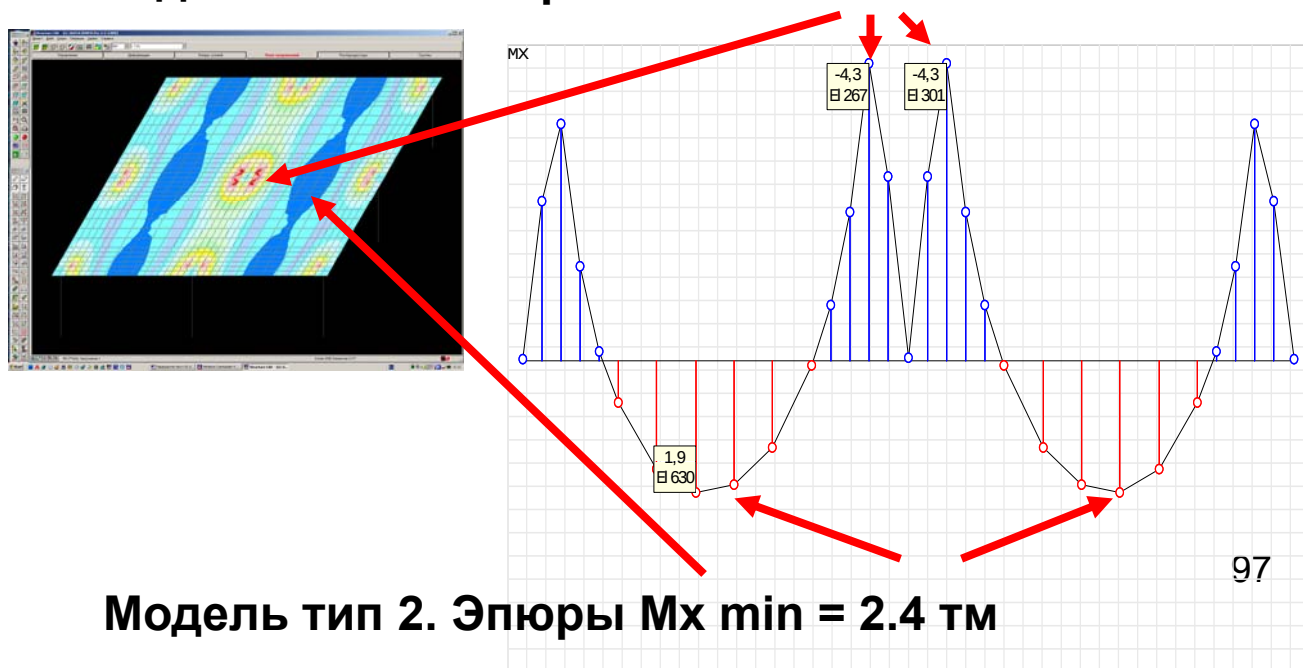
Монолитные железобетонные безригельные перекрытия с бескапительным стыком.

#### **Модель тип 1. Эпюры $M_x$ max = 14.1 тм**



#### **Модель тип 1. Эпюры $M_x$ min = 2.4 тм**

#### **Модель тип 2. Эпюры $M_x$ max = 4.3 тм**



#### **Модель тип 2. Эпюры $M_x$ min = 2.4 тм**

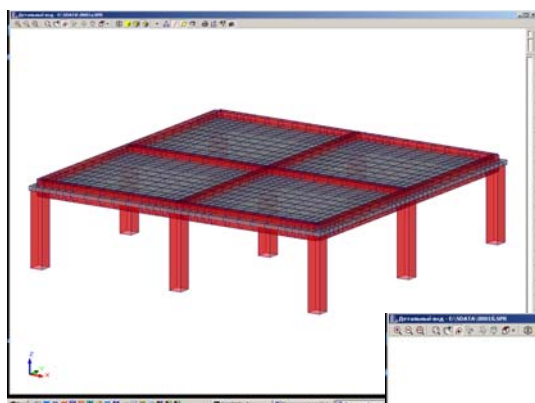
### **3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.**

Расчетные модели монолитных железобетонных балочных перекрытий.

Геометрическое моделирование конструкции.

Тестовые задачи:

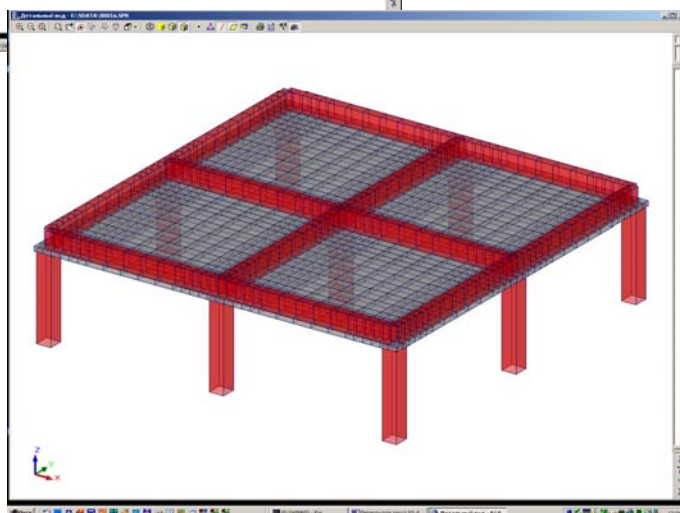
- Оси балки и плиты совпадают (модель тип 1);
- Балка расположена под перекрытием (модель тип 2);
- Балка расположена над перекрытием («балка вверх») (модель тип 3).



**Модель тип 1**



**Модель тип 2**



**Модель тип 3**

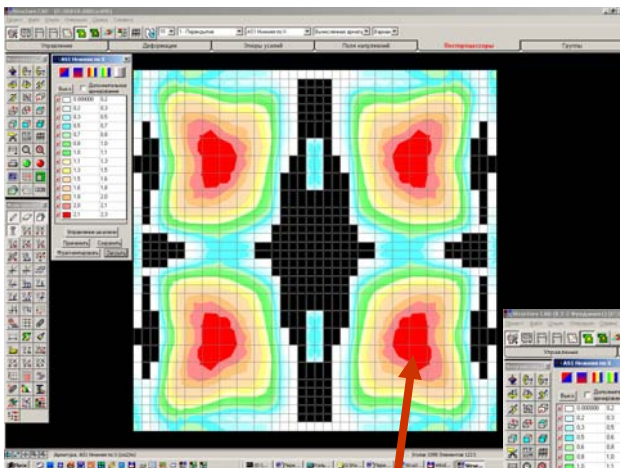
### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

Расчетные модели монолитных железобетонных балочных перекрытий.

Геометрическое моделирование конструкции.

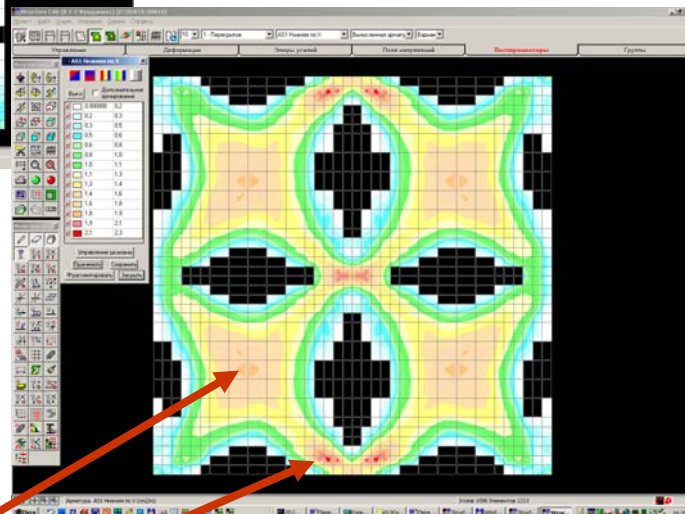
Тестовые задачи:

- Оси балки и плиты совпадают (модель тип 1);
- Балка расположена под перекрытием (модель тип 2);
- Балка расположена над перекрытием («балка вверх») (модель тип 3).



Модель тип 1

$A_{s1 \max} = 2.3 \text{ см}^2$



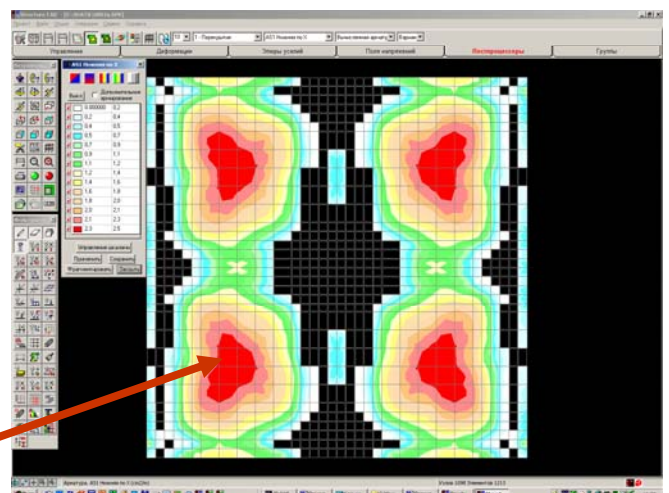
Модель тип 2

$A_{s1 \text{ пролет}} = 1.4 \text{ см}^2$

$A_{s1 \max} = 2.3 \text{ см}^2$

Модель тип 3

$A_{s1 \max} = 2.5 \text{ см}^2$





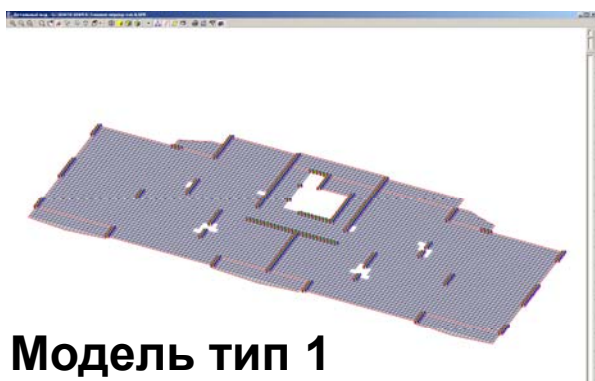
### **3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.**

Расчетные модели монолитных железобетонных безригельных перекрытий.

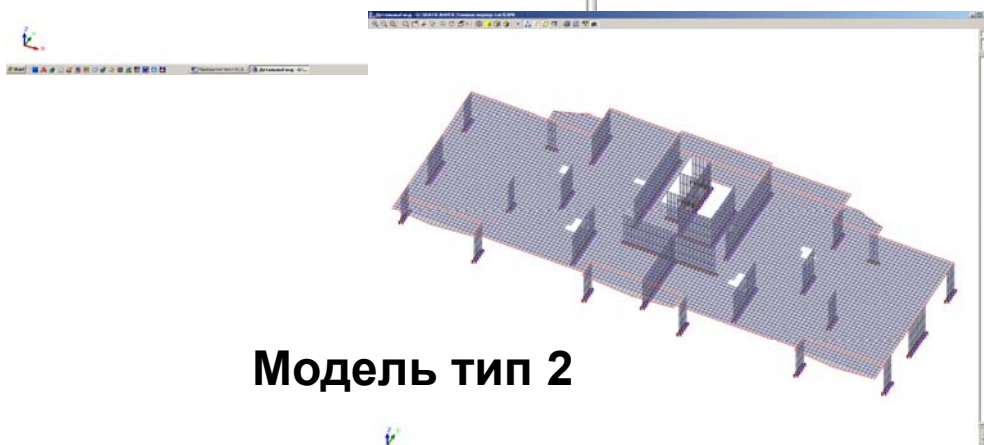
Учет условий деформирования элементов перекрытия расчетной модели

Тестовые задачи:

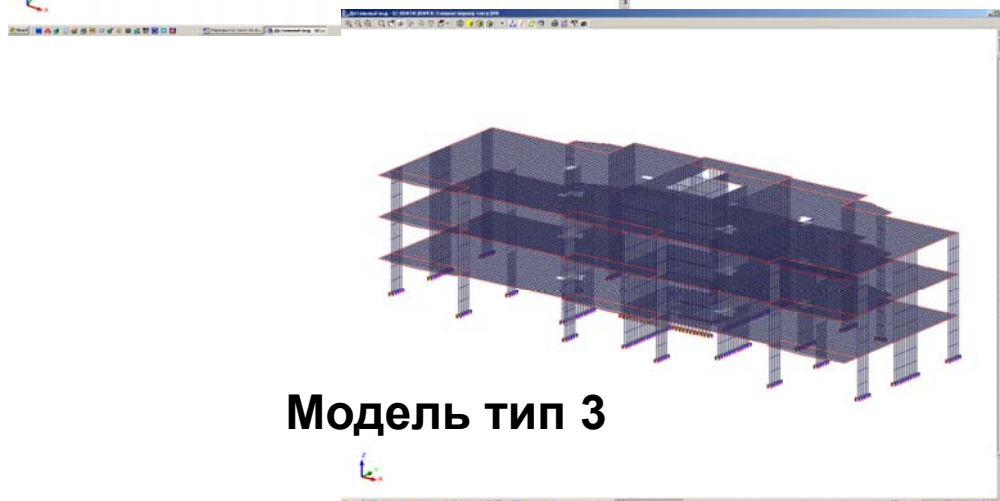
- Жесткое закрепление опорных узлов (модель тип 1);
- Опираение перекрытия на стены нижнего яруса (модель тип 2);
- Комбинация из 3-х типовых этажей здания с вертикальными несущими конструкциями (модель тип 3).



**Модель тип 1**



**Модель тип 2**



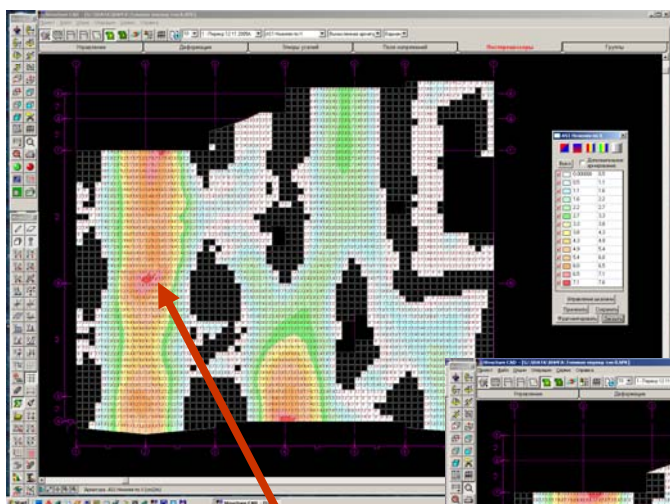
**Модель тип 3**

### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

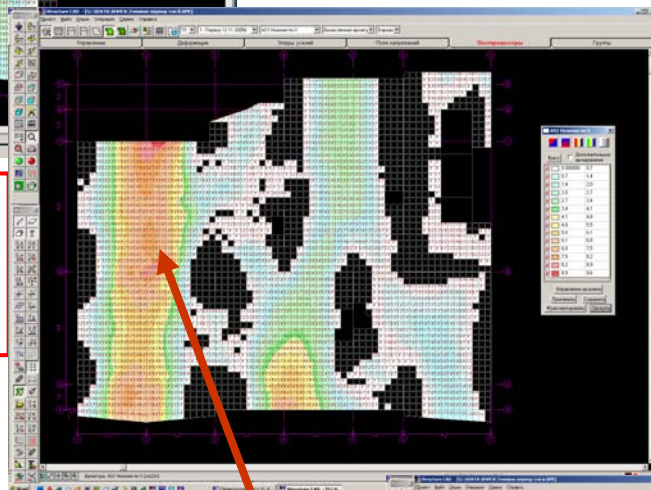
Расчетные модели монолитных железобетонных безригельных перекрытий.

Учет условий деформирования элементов перекрытия расчетной модели

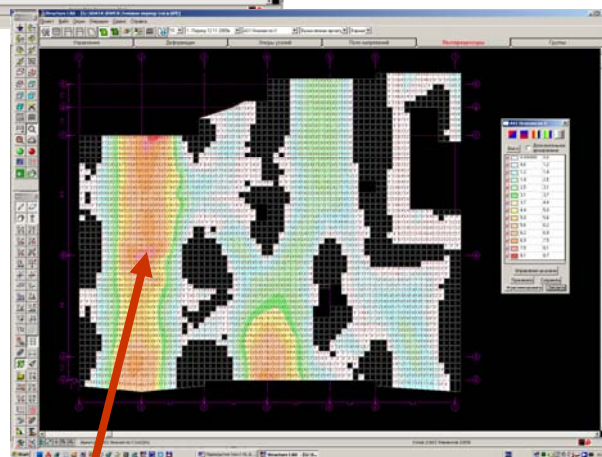
**Расчетное значение  
нижнего армирования  
по X.**



**Модель тип 1**  
 **$As1_{max}=7.6 \text{ см}^2$**



**Модель тип 2**  
 **$As1_{max}=9.6 \text{ см}^2$**



**Модель тип 3**  
 **$As1_{max}=8.7 \text{ см}^2$**



### **3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.**

Расчетные модели монолитных железобетонных безригельных перекрытий.

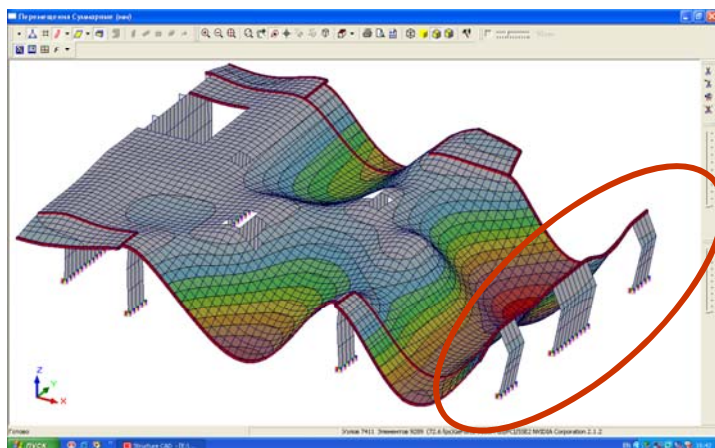
Учет условий деформирования элементов перекрытия расчетной модели

| Тип модели | Нижн. по X      | армир. (max) | Верх. по X      | армир. (max) | Верх. по X      | армир. (крайняя опора) |
|------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------------|
|            | см <sup>2</sup> | %            | см <sup>2</sup> | %            | см <sup>2</sup> | %                      |
| Тип 1      | 7,6             | 100          | 21,0            | 100          | 21,0            | 100                    |
| Тип 2      | 9,6             | 126,3        | 19,5            | 92,9         | 12,6            | 60,0                   |
| Тип 3      | 8,7             | 114,5        | 23,1            | 110,0        | 19,8            | 94,3                   |

### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

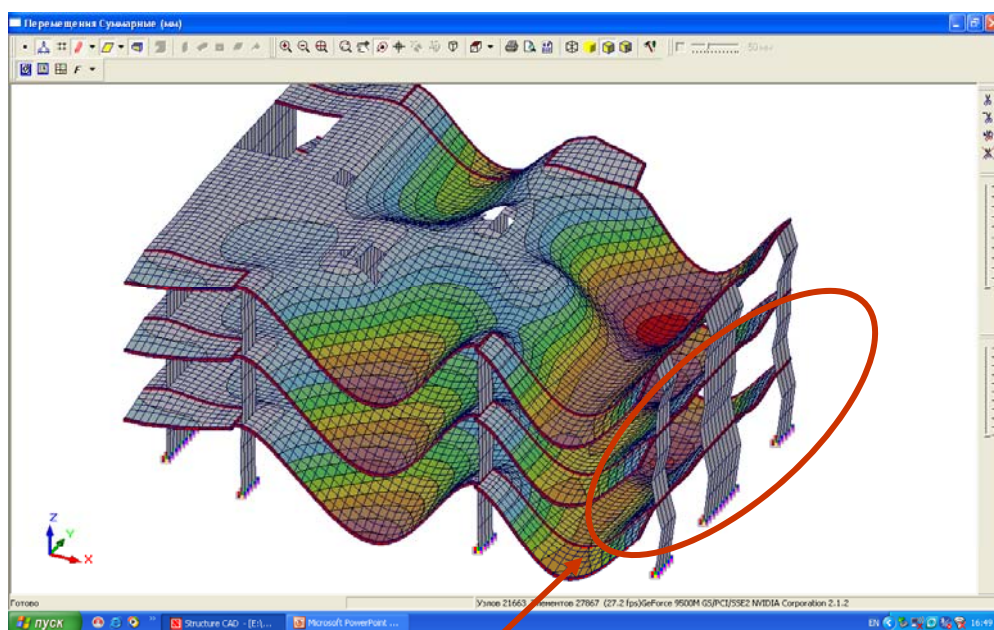
Расчетные модели монолитных железобетонных безригельных перекрытий.

Учет условий деформирования элементов перекрытия расчетной модели



Модель тип 2

**Мнимое улучшение**  
**расчетной модели**  
**перекрытия**  
**типового этажа!**  
Деформируемая  
опора!  
Перекрытие  
деформируется как  
покрытие.



Модель тип 3

**Бликие к реальным  
деформации опоры  
среднего перекрытия  
(перекрытия типового  
этажа).**

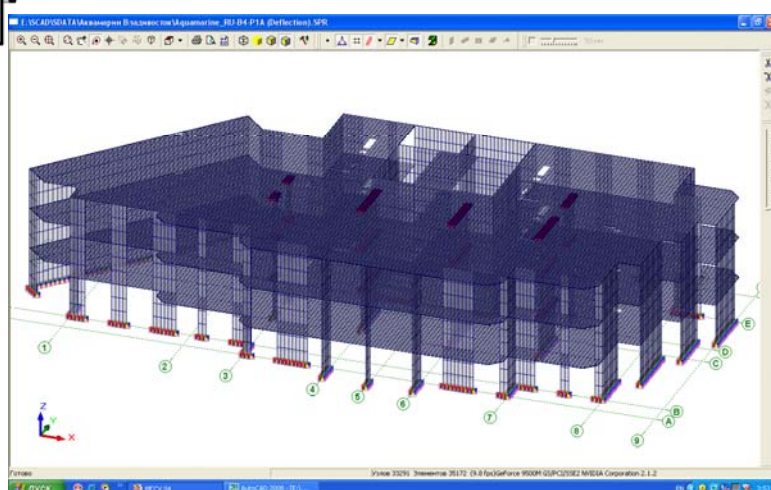
### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

Расчетные модели монолитных железобетонных безригельных перекрытий.

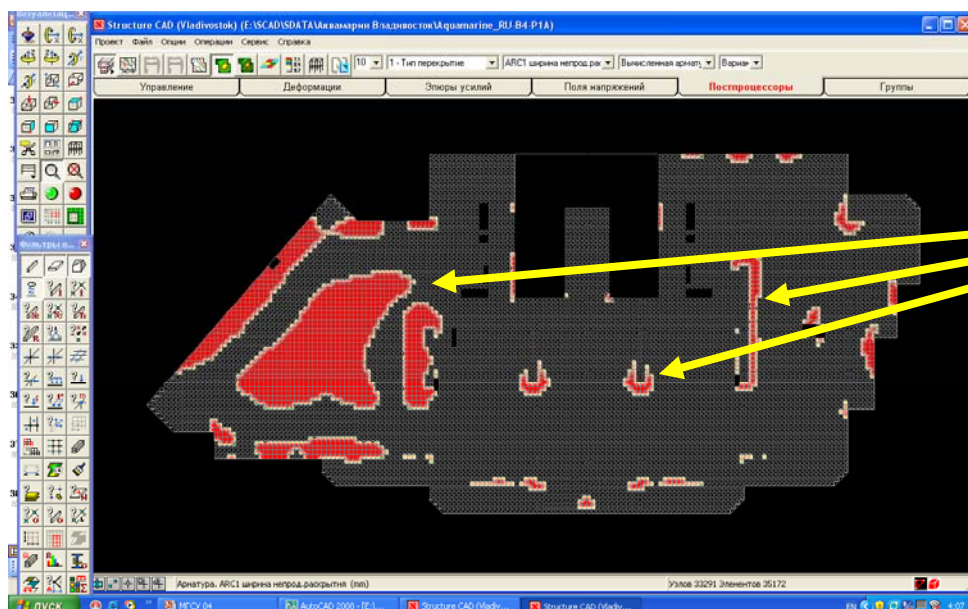
Расчет деформаций перекрытий с учетом нелинейной работы железобетона.



План типового этажа жилого дома.



Расчетная модель перекрытий типового этажа жилого дома.



1-й этап.  
Расчетная модель  
перекрытий  
типового этажа  
жилого дома.  $E_b = E_0$   
Зоны трещино-  
образования.



Редуцирование модулей  
упругости материала  
несущих конструкций:  
 $E_b = E_0 \times k$   
 $k = 0,2; 0,3; 0,6$



### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

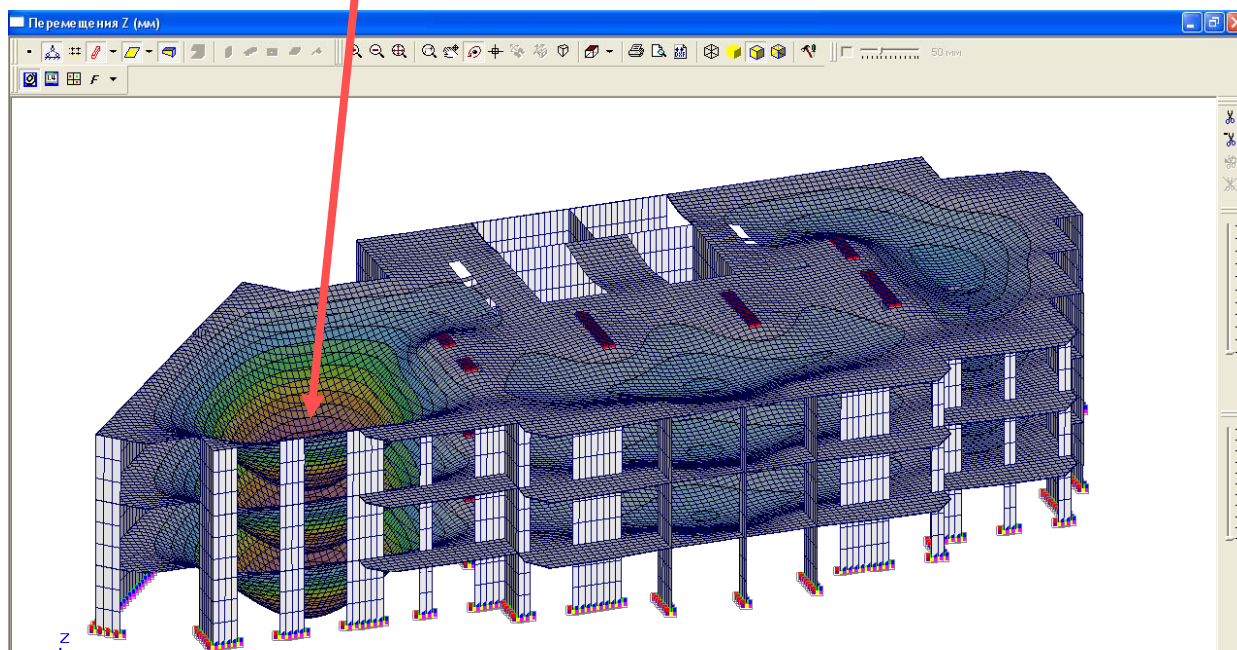
Расчетные модели монолитных железобетонных безригельных перекрытий.

Расчет деформаций перекрытий с учетом нелинейной работы железобетона.

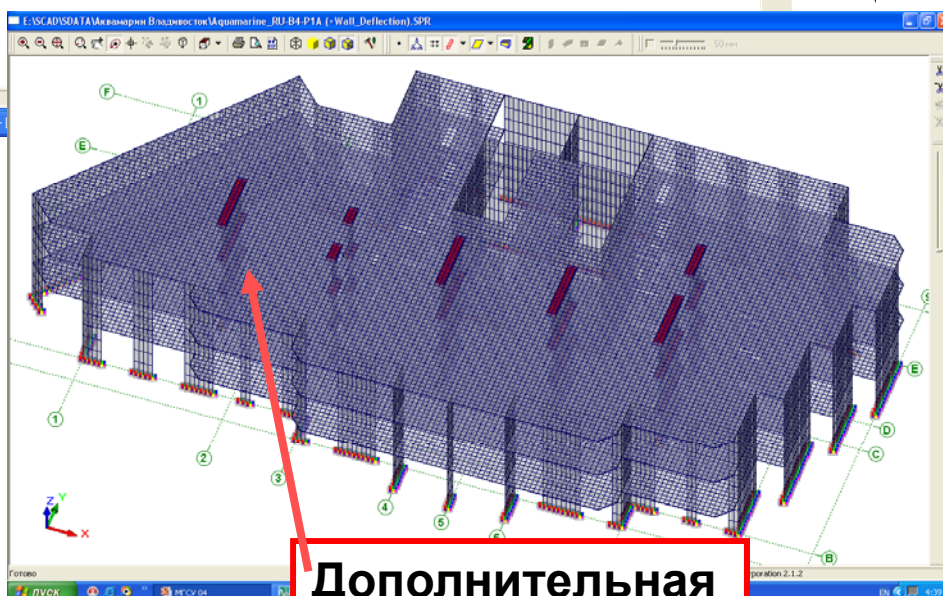
**Зона  
максимальных  
деформаций  
 $Z=70 \text{ мм} > [Z]$**



**Необходима  
корректировка  
конструктивных  
решений**



Расчетная модель  
перекрытий с  
редуцированным  
модулем упругости  
материала несущих  
конструкций:  
 $E_b = E_0 \times k$  ( $k=0,2; 0,3;$   
 $0,6$ )



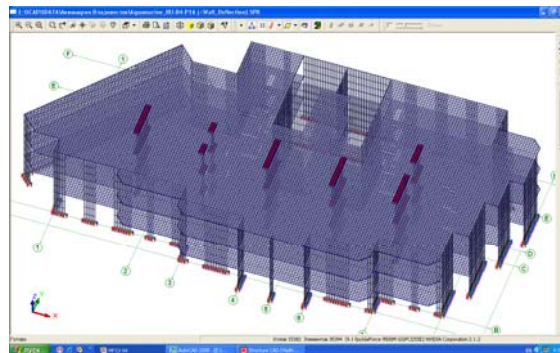
**Дополнительная  
опора**

### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

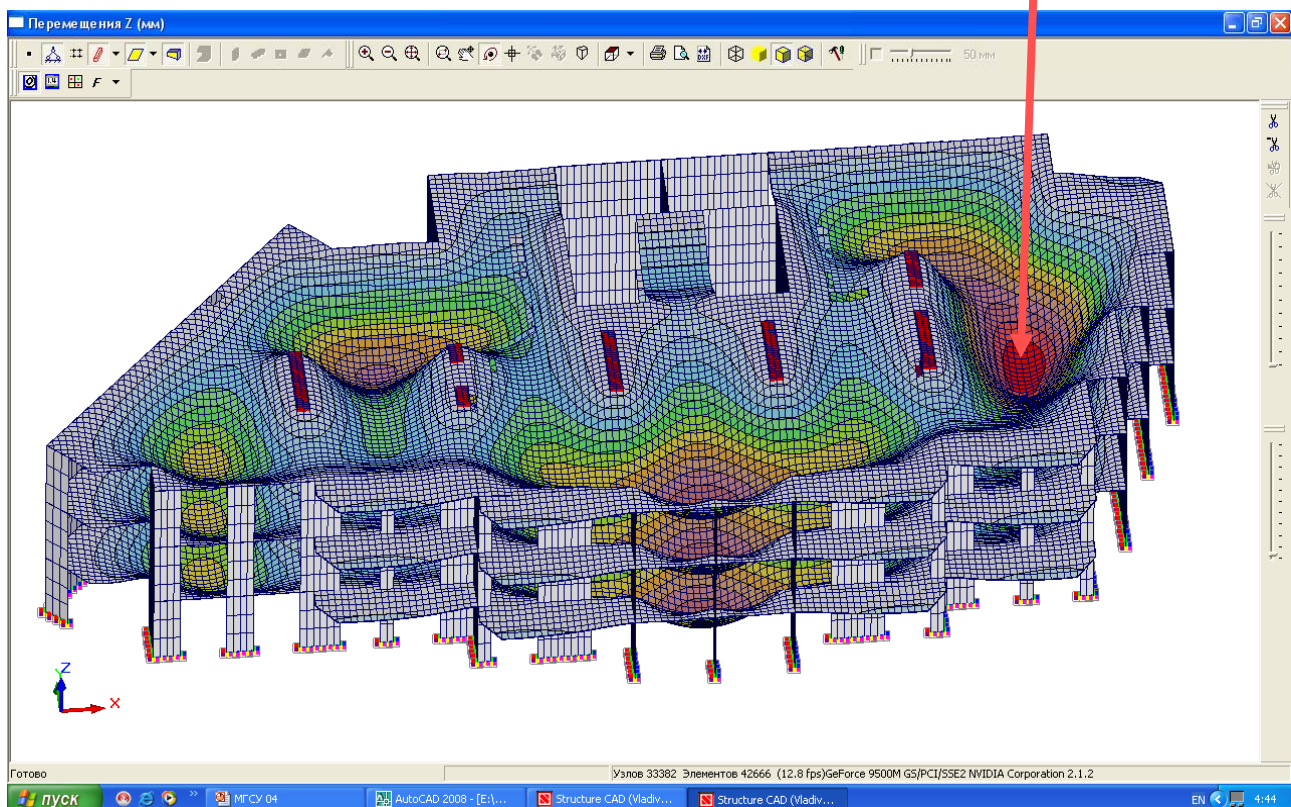
Расчетные модели монолитных железобетонных безригельных перекрытий.

Расчет деформаций перекрытий с учетом нелинейной работы железобетона.

Расчетная модель  
перекрытий с  
дополнительной  
опорой и  
редуцированным  
модулем упругости  
материала  
несущих  
конструкций:  
 $E_b = E_0 \times k$



**Зона  
максимальных  
деформаций  
 $Z = 15,3 \text{ мм} < [Z]$**



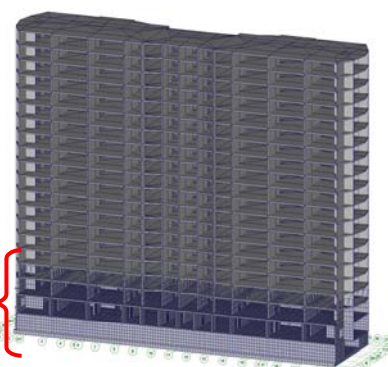
**Приемлемое  
конструктивное  
решение**



### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

## Расчетные модели монолитных железобетонных безригельных перекрытий.

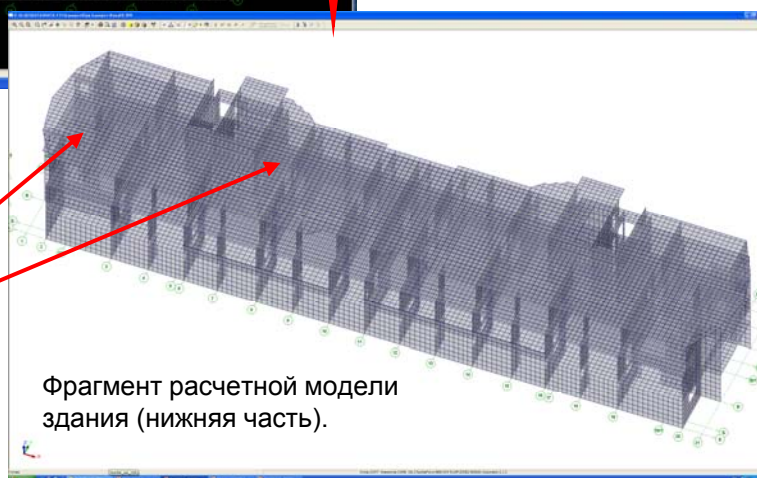
Особенности напряженно-деформированного состояния перекрытий нижних ярусов. Учет влияния деформаций вертикальных конструкций.



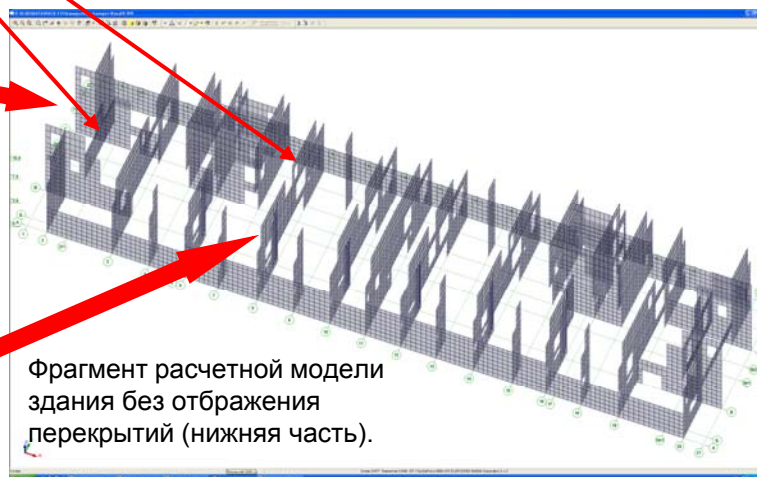
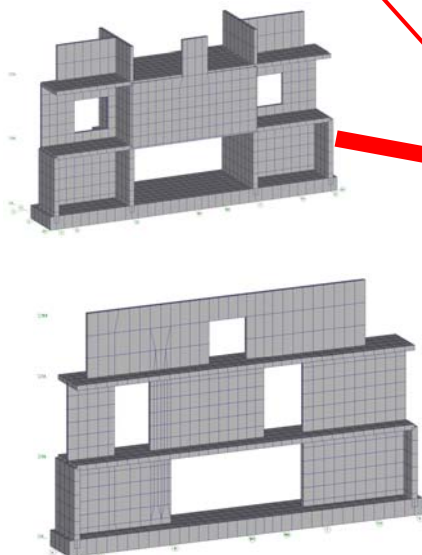
Расчетная модель здания.

AS3 – нижнее армирование в продольном направлении – увеличенные значения на опорах???

Локализация участков «неожиданных» результатов армирования



Фрагмент расчетной модели здания (нижняя часть).

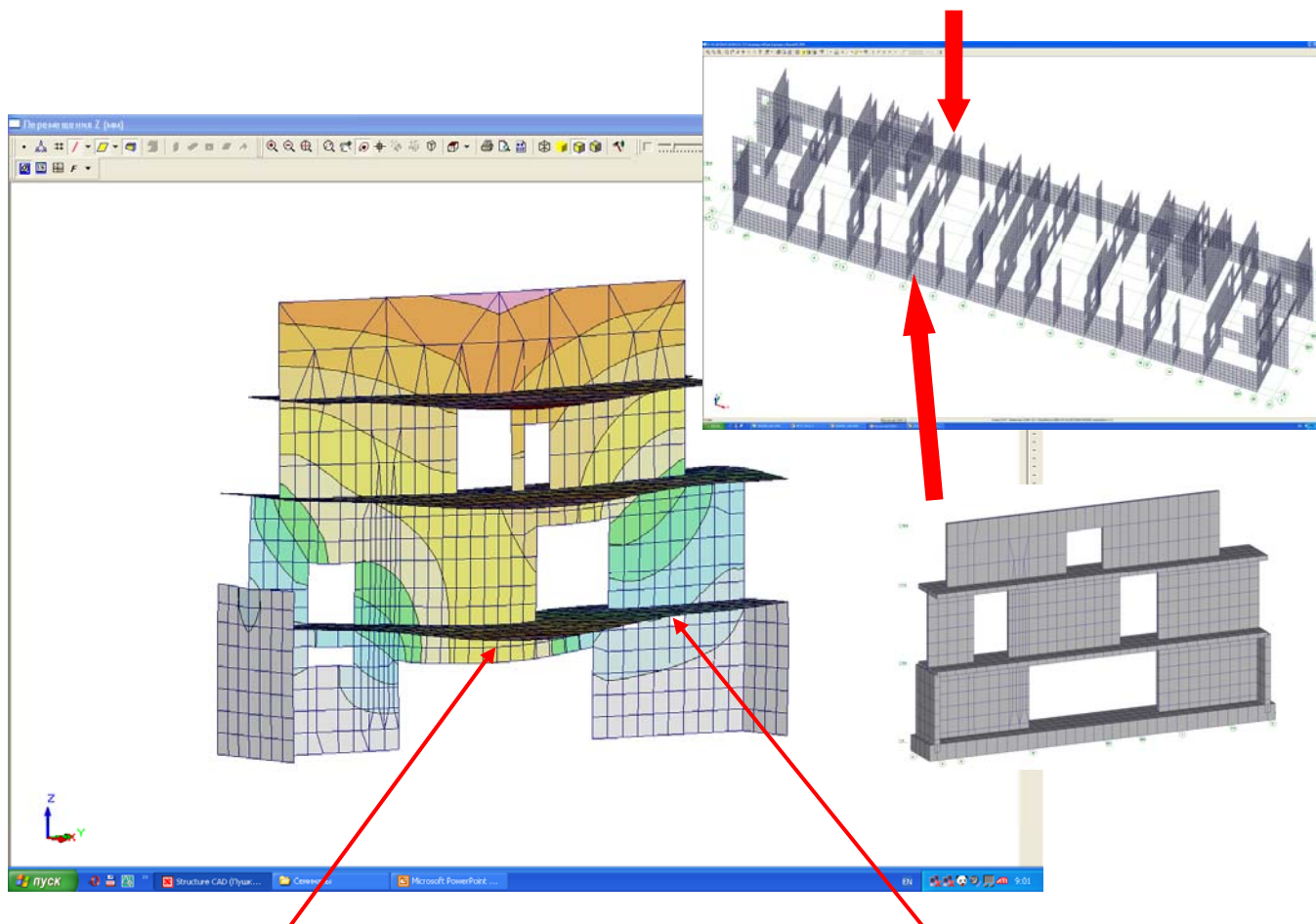


Фрагмент расчетной модели здания без отображения перекрытий (нижняя часть).

### **3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.**

## Расчетные модели монолитных железобетонных безригельных перекрытий.

Особенности напряженно-деформированного состояния перекрытий нижних ярусов. Учет влияния деформаций вертикальных конструкций.



Деформации вертикальных несущих конструкций (совместно с перекрытиями) в зоне над проездом.

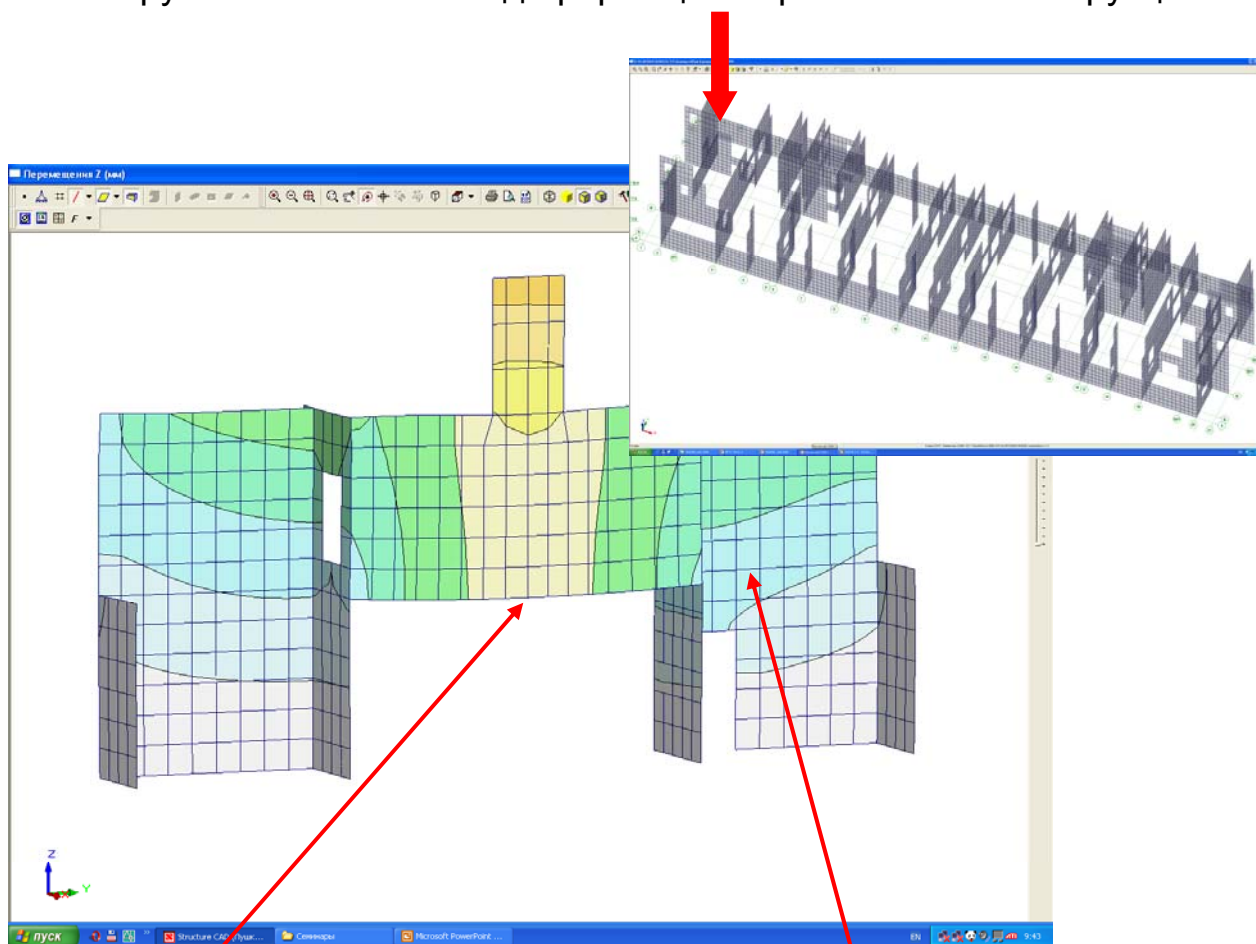
Деформации вертикальных несущих конструкций (совместно с перекрытиями) в зоне стен подвальной части.

Деформации вертикальных несущих конструкций (совместно с перекрытиями) в зоне над проездом превышают значения деформаций в зоне стен подвальной части. Результат: участок перекрытия «на опоре» в зоне над проездом требует нижнего армирования в продольном направлении.

### **3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.**

## Расчетные модели монолитных железобетонных безригельных перекрытий.

Особенности напряженно-деформированного состояния перекрытий нижних ярусов. Учет влияния деформаций вертикальных конструкций.



Деформации вертикальных несущих конструкций (совместно с перекрытиями) в зоне над проездом.

Деформации вертикальных несущих конструкций (совместно с перекрытиями) в зоне стен подвальной части.

Деформации вертикальных несущих конструкций (совместно с перекрытиями) в зоне над проездом превышают значения деформаций в зоне стен подвальной части. Результат: участок перекрытия «на опоре» в зоне над проездом требует нижнего армирования в продольном направлении.

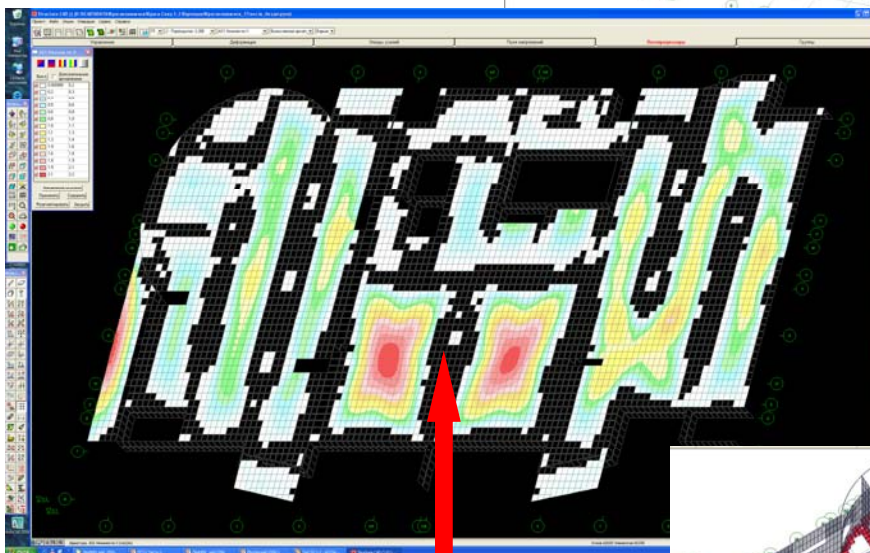
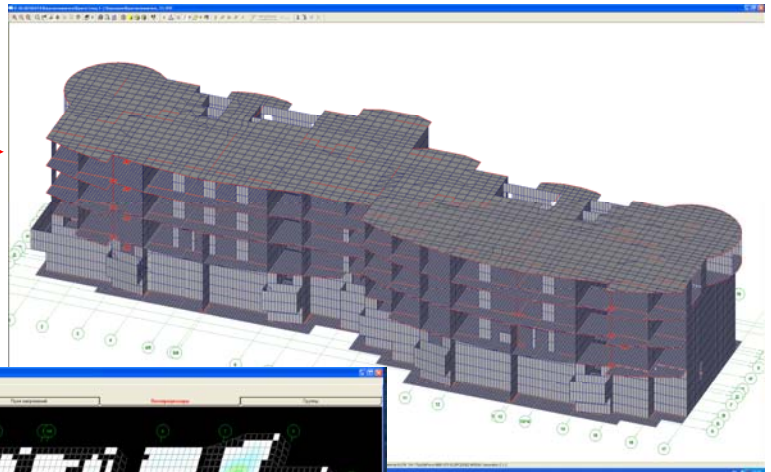


### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

#### Расчетные модели монолитных железобетонных безригельных перекрытий.

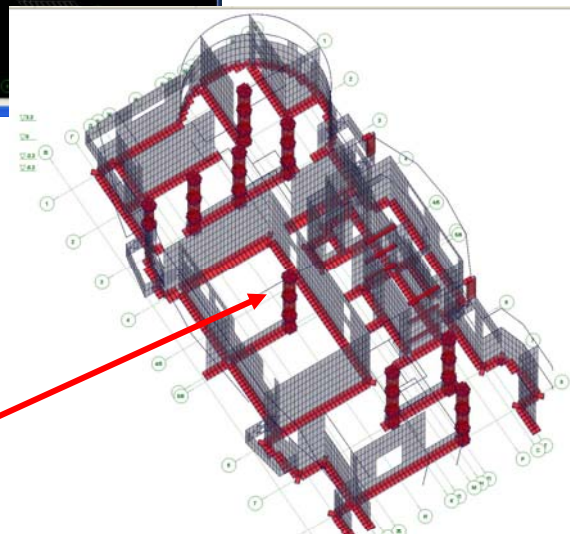
Особенности напряженно-деформированного состояния перекрытий нижних ярусов. Учет влияния деформаций основания.

Фрагмент расчетной модели здания (нижняя часть) на недеформируемом основании ( $C_1=25\,000\text{ т/м}^3$ ).



AS1 – нижнее армирование в поперечном направлении – отсутствие расчетной арматуры на опоре (колонне) – «ПРАВИЛЬНЫЙ» результат !

Локализация участка «правильного» результата расчета армирования



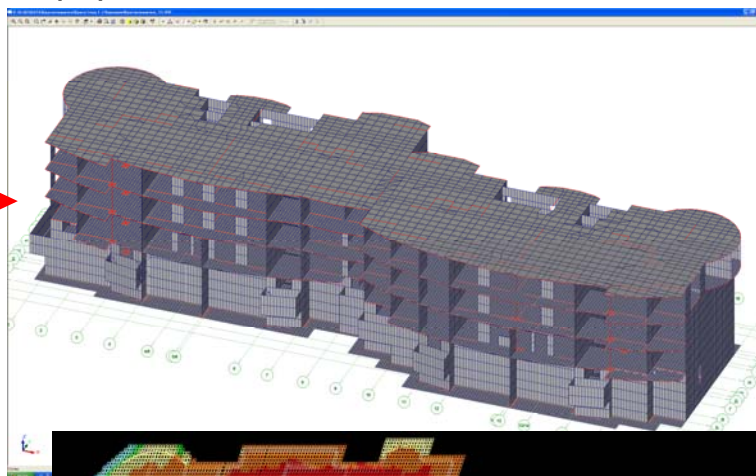
Фрагмент расчетной модели здания без отображения перекрытий (нижняя часть)

### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

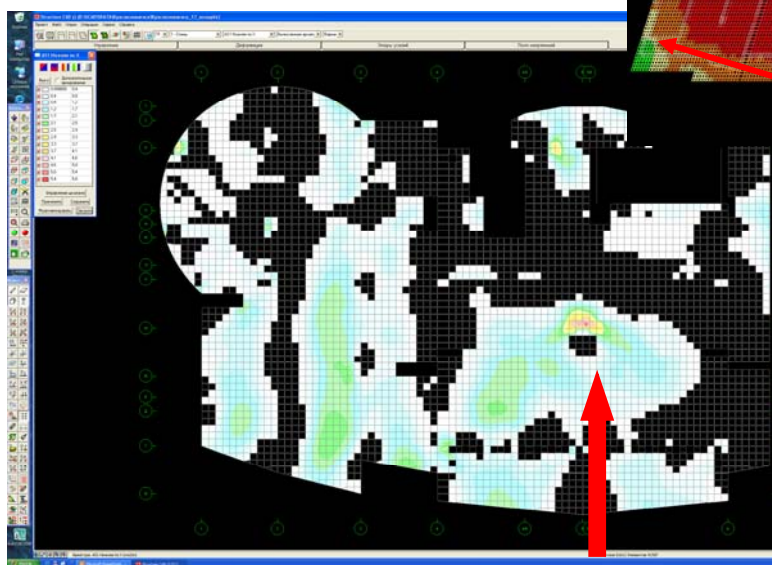
Расчетные модели монолитных железобетонных безригельных перекрытий.

Особенности напряженно-деформированного состояния перекрытий нижних ярусов. Учет влияния деформаций основания.

Фрагмент расчетной модели здания (нижняя часть) с учетом деформируемого основания (C1 – переменная величина – по Б.Г. Федоровскому).

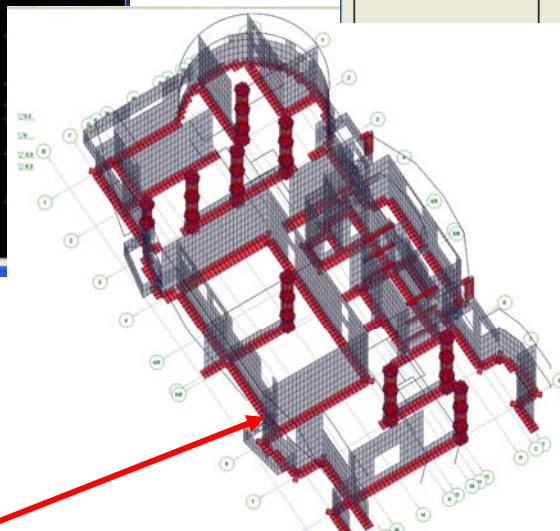


Изополю расчетного значения C1



Расчетная модель на деформируемом основании. AS1 – нижнее армирование в поперечном направлении – увеличенные значения на опоре (колонне) – «НЕПРАВИЛЬНЫЙ» результат!

Локализация участка «неожиданного» результата армирования



Фрагмент расчетной модели здания без отображения перекрытий (нижняя часть).

Вывод: учет деформируемого основания позволяет учесть реальную схему деформирования надфундаментных конструкций. При этом возможны «неожиданные» результаты.



### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

## Расчетные модели монолитных железобетонных вертикальных конструкций.

Основные цели статических расчетов вертикальных несущих конструкций:

1. Определение напряженно-деформированного состояния и расчетного армирования вертикальных несущих конструкций от действия основного и особого (+ сейсмические воздействия) сочетания нагрузок с учетом деформируемого основания;
2. Определение коэффициента устойчивости при действии основного сочетания нагрузок;
3. Определение максимальных ускорений в уровне перекрытий от ветровых воздействий (с учетом пульсационной составляющей);
4. Определение горизонтальных перемещений здания в целом и взаимного смещения конструкций отдельных этажей;
5. Определение сопротивляемости несущих конструкций здания прогрессирующему обрушению.

1. Определение напряженно-деформированного состояния и расчетного армирования вертикальных несущих конструкций от действия основного и особого (с учетом сейсмических воздействий интенсивностью ? баллов) сочетания нагрузок.

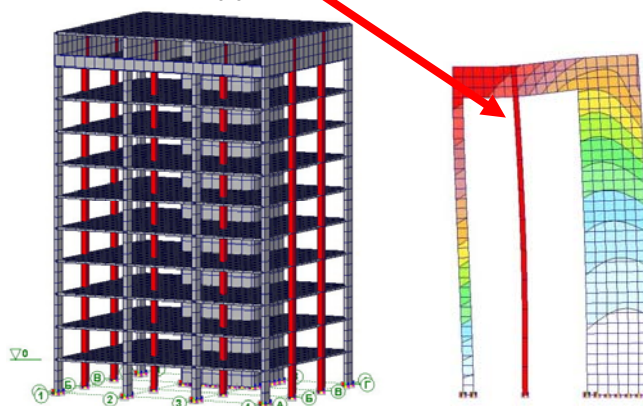
### Общие («глобальные») расчетные модели



Возможность анализа взаимодействия всех конструктивных элементов здания;  
Расчет на динамические воздействия;  
Учет пространственного характера здания в процессе взаимодействия с внешними воздействиями (ветер и т.п.).



Неучет особенностей (истории) возведения и нагружения сооружения.  
«Подвес» колонны



### **3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.**

## **Расчетные модели монолитных железобетонных вертикальных конструкций.**

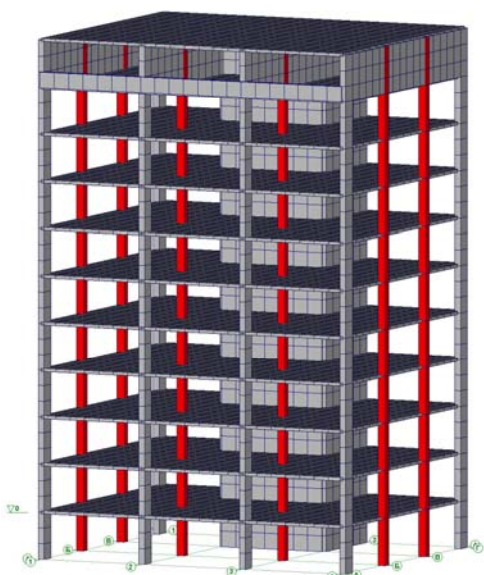
1. Определение напряженно-деформированного состояния и расчетного армирования вертикальных несущих конструкций от действия основного и особого (с учетом сейсмических воздействий интенсивностью ? баллов) сочетания нагрузок.

**Основные методы преодоления внутренних несовершенств глобальных моделей:**

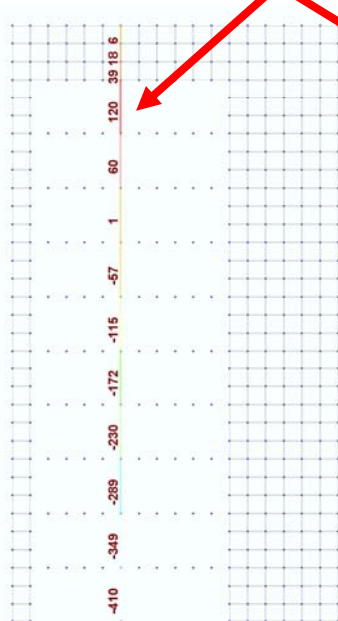
- Фрагментация глобальной модели.
- Расчет по технологии «Монтаж» - учет этапности возникновения в модели групп элементов и истории приложения нагрузки.

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

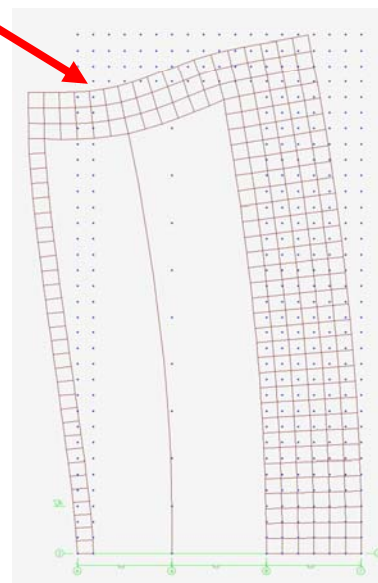
Усилие растяжения в колонне Верхнего яруса 120 т.  
Колонна «подвешена» к жесткой стене верхнего яруса.



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



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



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

### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

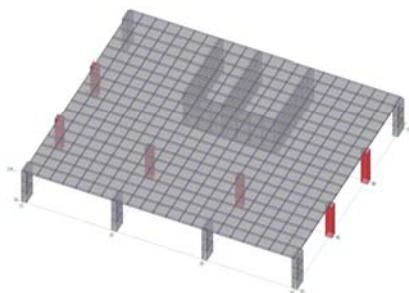
## Расчетные модели монолитных железобетонных вертикальных конструкций.

1. Определение напряженно-деформированного состояния и расчетного армирования вертикальных несущих конструкций от действия основного и особого (с учетом сейсмических воздействий интенсивностью ? баллов) сочетания нагрузок.

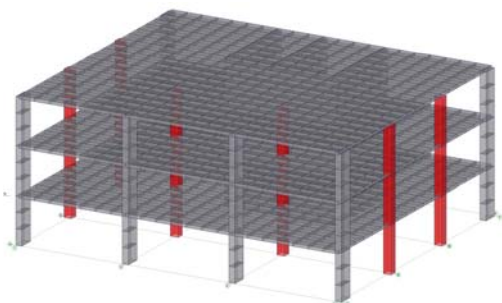
Основные методы преодоления внутренних несовершенств глобальных моделей:

- Расчет по технологии «Монтаж» - учет этапности возникновения в модели групп элементов и истории приложения нагрузки.

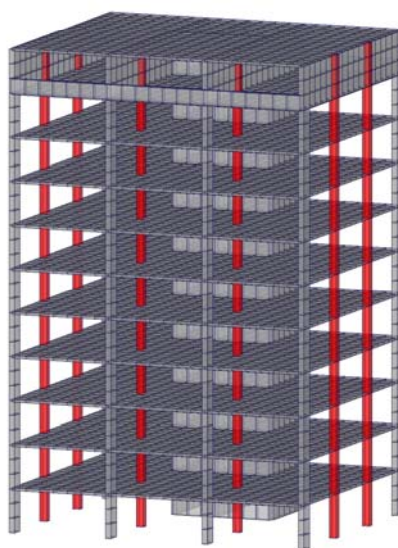
#### Методика расчета «Монтаж» - поэтапное включение элементов в состав деформированной схемы



1 этап расчета модели «Test-01+Монтаж». Перекрытия модели загружены равномерной распределенной нагрузкой 15 кПа.

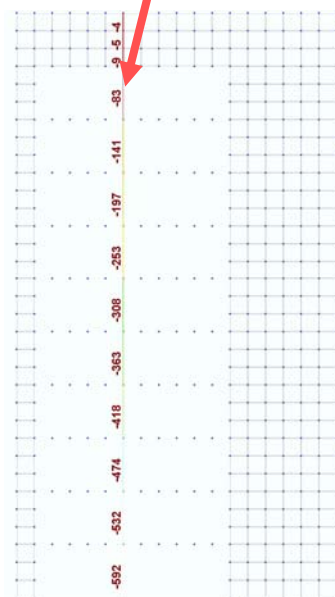


3 этап расчета модели «Test-01+Монтаж». Перекрытия модели загружены равномерной распределенной нагрузкой 15 кПа.



11 этап расчета модели «Test-01+Монтаж». Перекрытия модели загружены равномерной распределенной нагрузкой 15 кПа.

Усилия сжатия в колонне верхнего яруса 83 т.



Усилия в колонне по оси «2» 114 на 11 этапе расчета модели «Test-01+Монтаж».



### **3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.**

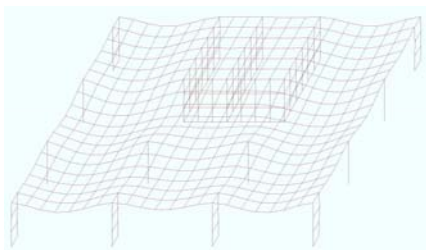
## **Расчетные модели монолитных железобетонных вертикальных конструкций.**

1. Определение напряженно-деформированного состояния и расчетного армирования вертикальных несущих конструкций от действия основного и особого (с учетом сейсмических воздействий интенсивностью ? баллов) сочетания нагрузок.

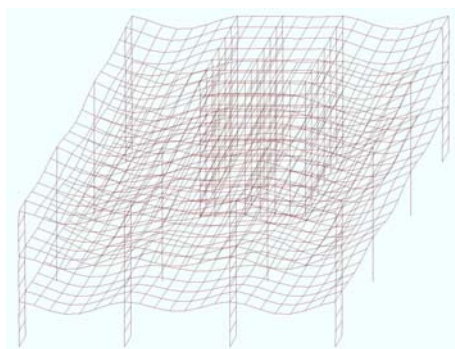
Основные методы преодоления внутренних несовершенств глобальных моделей:

- Расчет по технологии «Монтаж» - учет этапности возникновения в модели групп элементов и истории приложения нагрузки.

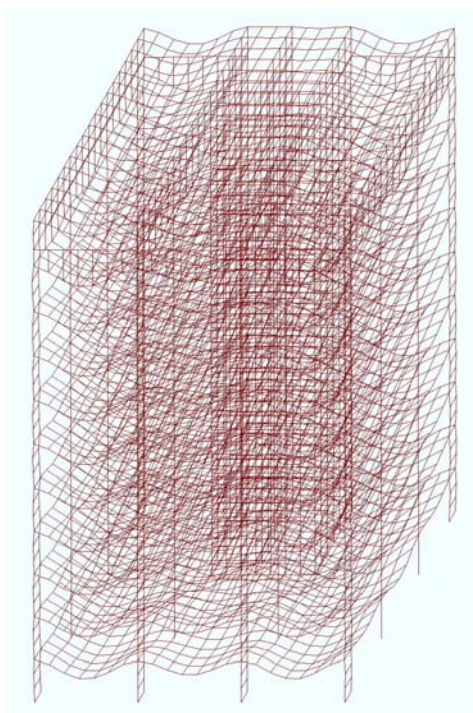
**Методика расчета «Монтаж» - поэтапное включение элементов в состав деформированной схемы**



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

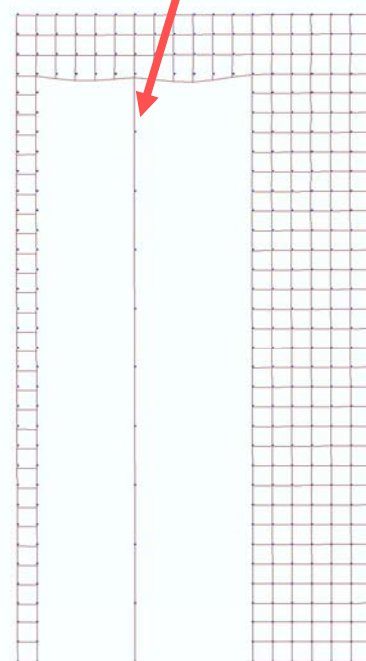


Деформации конструкций на 3 этапе расчета модели «Test-01+Монтаж».



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

Деформации конструкций компенсированы увеличением длин колонн на предыдущих этапах «монтажа»



Деформации конструкций по оси «2» на 11 этапе расчета модели «Test-01+Монтаж».

### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

## Расчетные модели монолитных железобетонных вертикальных конструкций.

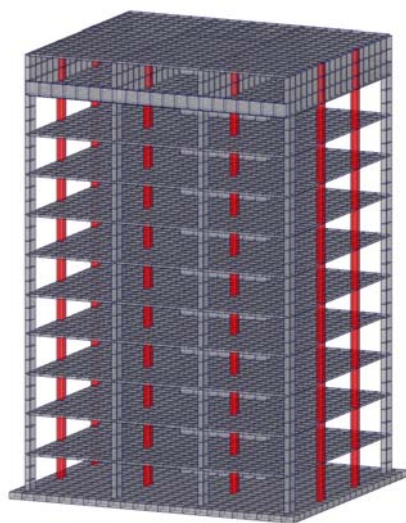
1. Определение напряженно-деформированного состояния и расчетного армирования вертикальных несущих конструкций от действия основного и особого (с учетом сейсмических воздействий интенсивностью ? баллов) сочетания нагрузок.

Основные методы преодоления внутренних несовершенств глобальных моделей:

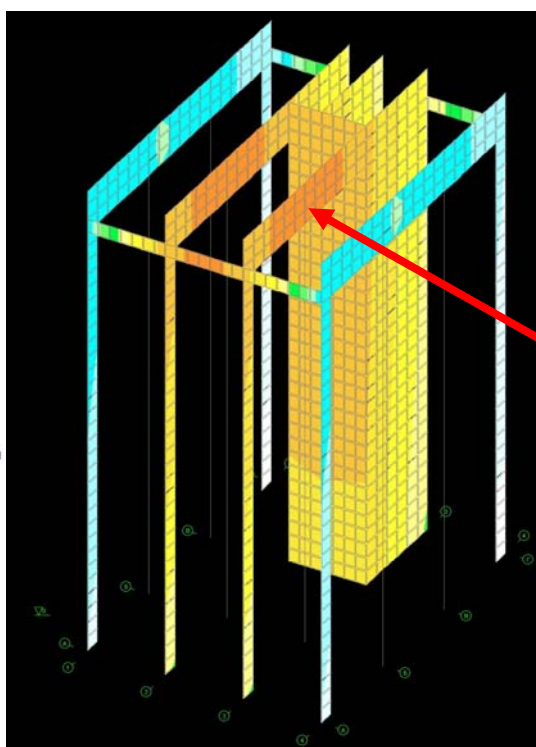
- Расчет по технологии «Монтаж» - учет этапности возникновения в модели групп элементов и истории приложения нагрузки.

**Расчет вертикальных деформаций.**

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



Общий вид расчетной модели «Test-01 +фундаментная плита».  $S_1=500\text{т/м}^3$   
Перекрытия модели загружены равномерной распределенной нагрузкой 15 кПа.



Изополюса вертикальных деформаций расчетной модели «Test-01 +фундаментная плита».  $S_1=500\text{т/м}^3$

Максимальные деформации – в нижних ярусах конструкций.

| Вкл.                                | Значение | Значение |
|-------------------------------------|----------|----------|
| <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  
Закреть



### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

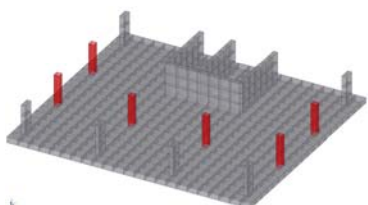
## Расчетные модели монолитных железобетонных вертикальных конструкций.

1. Определение напряженно-деформированного состояния и расчетного армирования вертикальных несущих конструкций от действия основного и особого (с учетом сейсмических воздействий интенсивностью ? баллов) сочетания нагрузок.

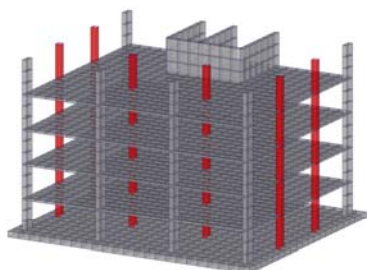
Основные методы преодоления внутренних несовершенств глобальных моделей:

- Расчет по технологии «Монтаж» - учет этапности возникновения в модели групп элементов и истории приложения нагрузки.

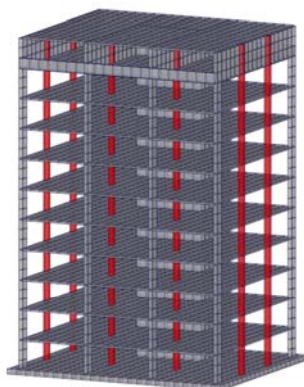
#### Расчет вертикальных деформаций. Методика расчета «Монтаж»



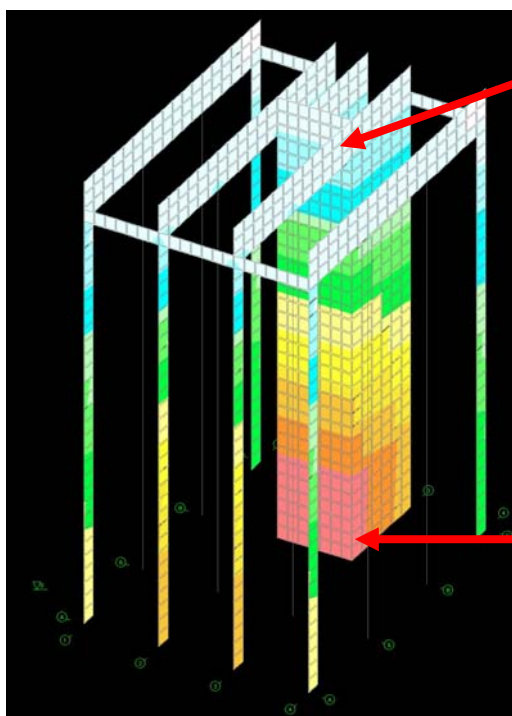
1 этап расчета модели «Test-01 +фундаментная плита+Монтаж».  
 $C1=500\text{т/м}^3$



5 этап расчета модели «Test-01 +фундаментная плита+Монтаж».  
 $C1=500\text{т/м}^3$



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



Изополя вертикальных деформаций расчетной модели «Test-01 +фундаментная плита+Монтаж».  
 $C1=500\text{т/м}^3$

Деформации конструкций нижнего яруса компенсированы увеличением длин колонн на предыдущих этапах «монтажа». Максимальные деформации – в нижних ярусах конструкций.

Перемещения Z (...)

| Вкл.                                | Значение 1 | Значение 2 |
|-------------------------------------|------------|------------|
| <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

Закрыть

### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

## Расчетные модели монолитных железобетонных вертикальных конструкций.

1. Определение напряженно-деформированного состояния и расчетного армирования вертикальных несущих конструкций от действия основного и особого (с учетом сейсмических воздействий интенсивностью ? баллов) сочетания нагрузок.

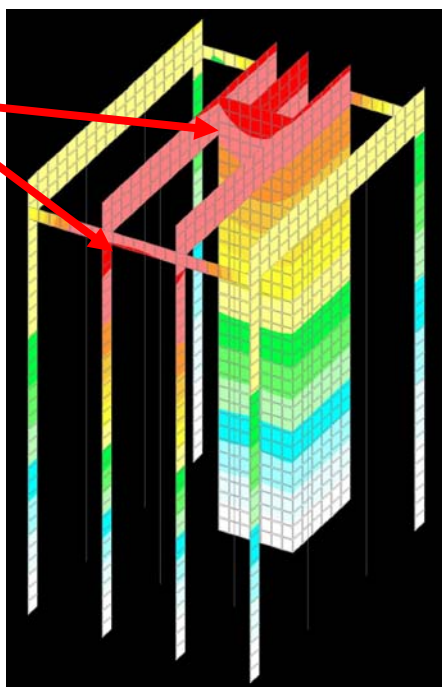
Основные методы преодоления внутренних несовершенств глобальных моделей:

- Расчет по технологии «Монтаж» - учет этапности возникновения в модели групп элементов и истории приложения нагрузки.

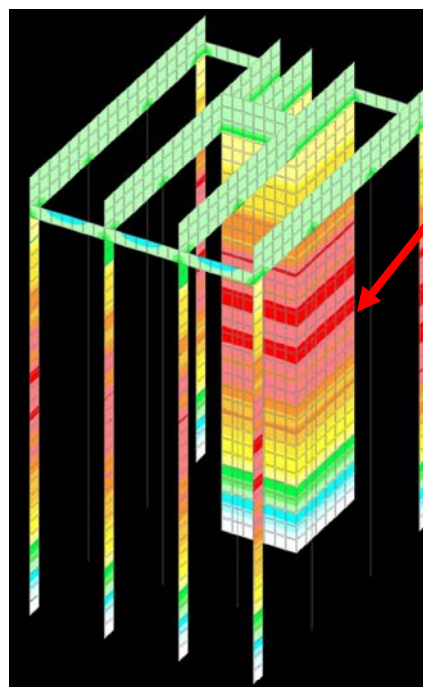
Расчет горизонтальных деформаций.

Традиционная методика расчета

Методика расчета «Монтаж»



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



Изороля деформаций (по Y) схема вертикальных конструкций по оси «2» расчетной модели «Test-01 +фунд. Плита+Монтаж».

Деформации конструкций нижнего яруса компенсированы увеличением длин колонн на предыдущих этапах «монтажа». Максимальные деформации – в нижних ярусах конструкций.

### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

## Расчетные модели монолитных железобетонных вертикальных конструкций.

1. Определение напряженно-деформированного состояния и расчетного армирования вертикальных несущих конструкций от действия основного и особого (с учетом сейсмических воздействий интенсивностью ? баллов) сочетания нагрузок.

Основные методы преодоления внутренних несовершенств глобальных моделей:

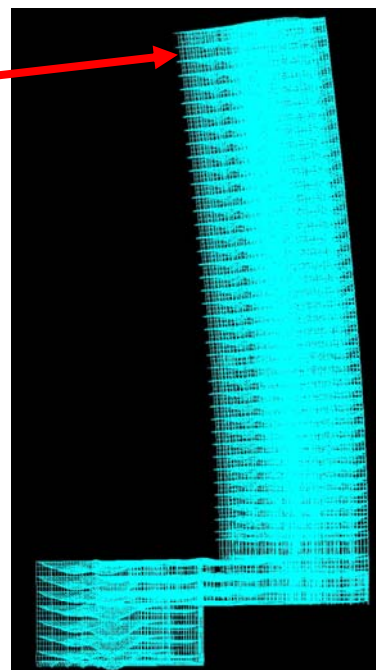
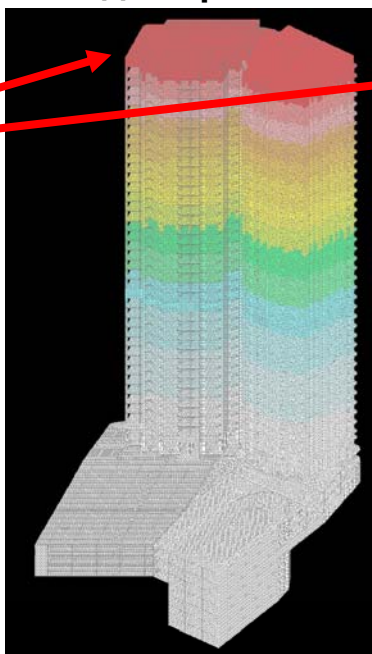
- Расчет по технологии «Монтаж» - учет этапности возникновения в модели групп элементов и истории приложения нагрузок.

### Расчет горизонтальных деформаций.

#### Традиционная методика расчета



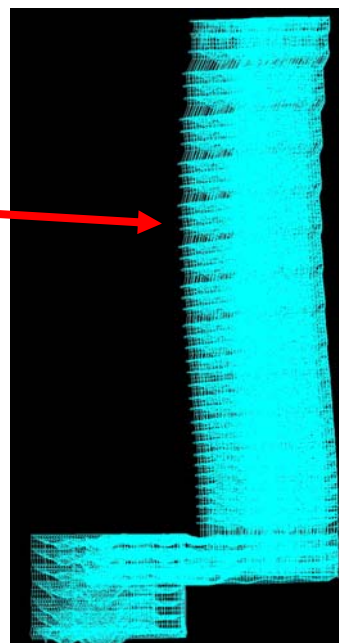
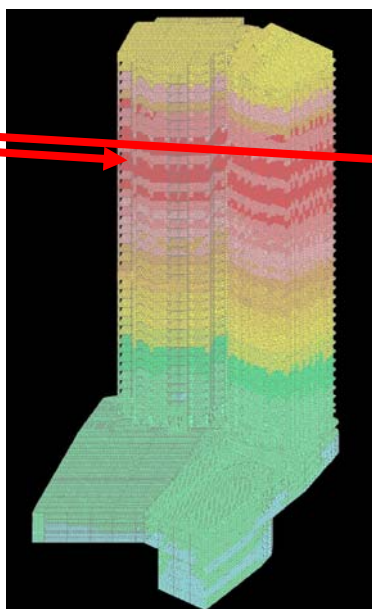
Максимальные деформации по Y = 19 мм.



#### Методика расчета «Монтаж»



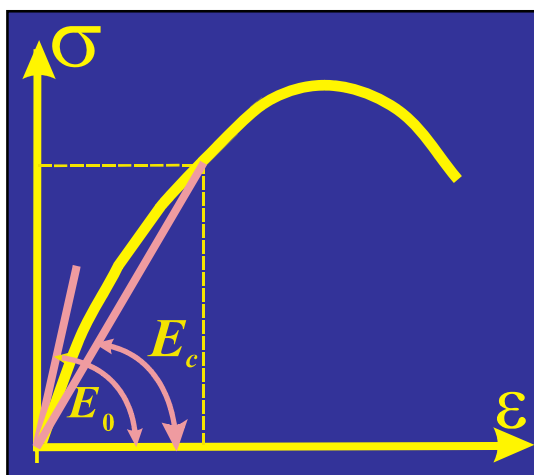
Максимальные деформации по Y = 4,8 мм.



### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

Учет физической нелинейности железобетона.

Диаграмма деформирования бетона



$$\sigma = \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k - 2)\eta}$$

$$k = 1,1 E_{c,m} \varepsilon_{cl} / f_c; \quad \eta = \varepsilon / \varepsilon_{cl}$$

Упрощенный вариант диаграммы деформирования бетона

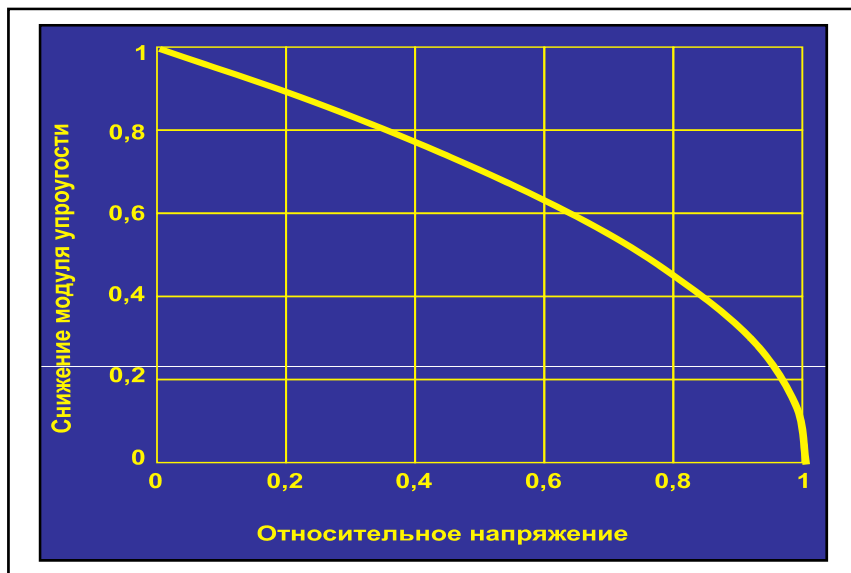
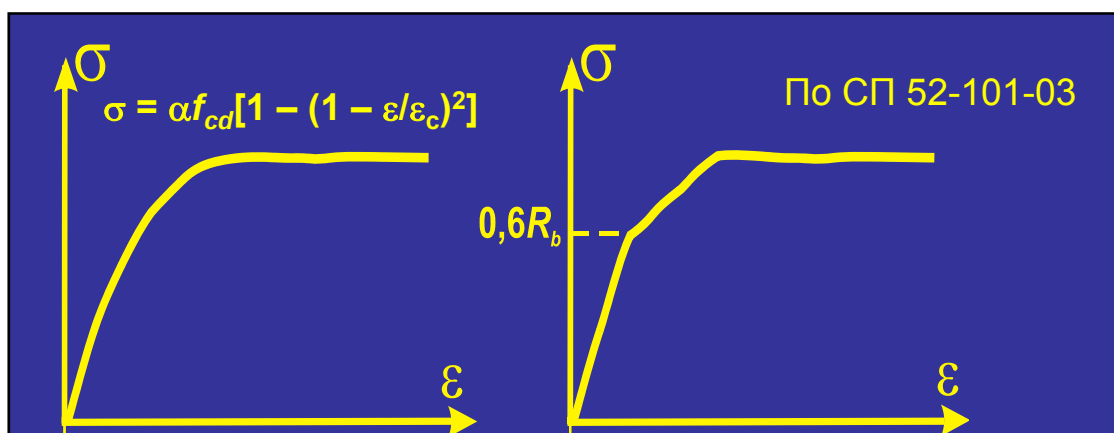
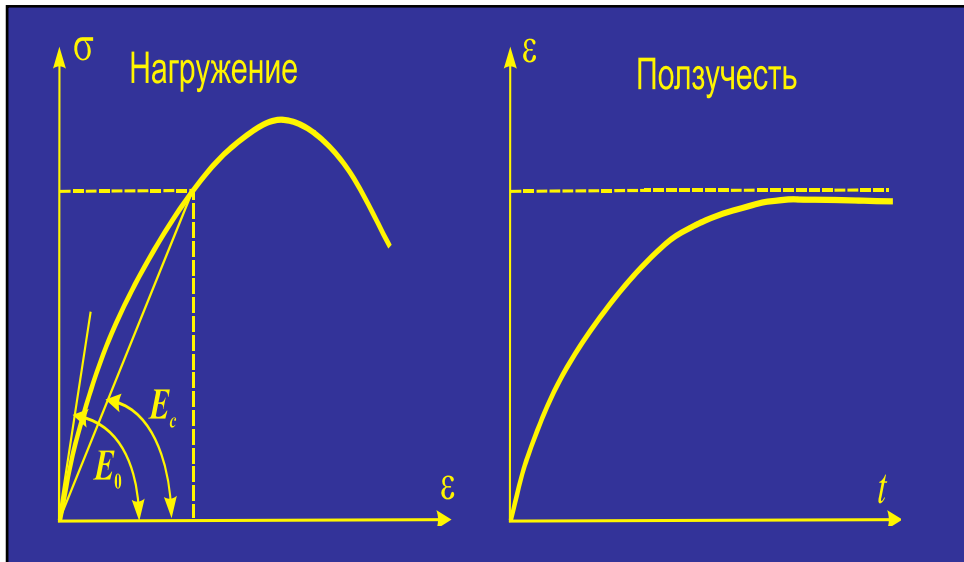


График снижения модуля упругости при увеличении напряжений (для квадратичного закона деформирования бетона)

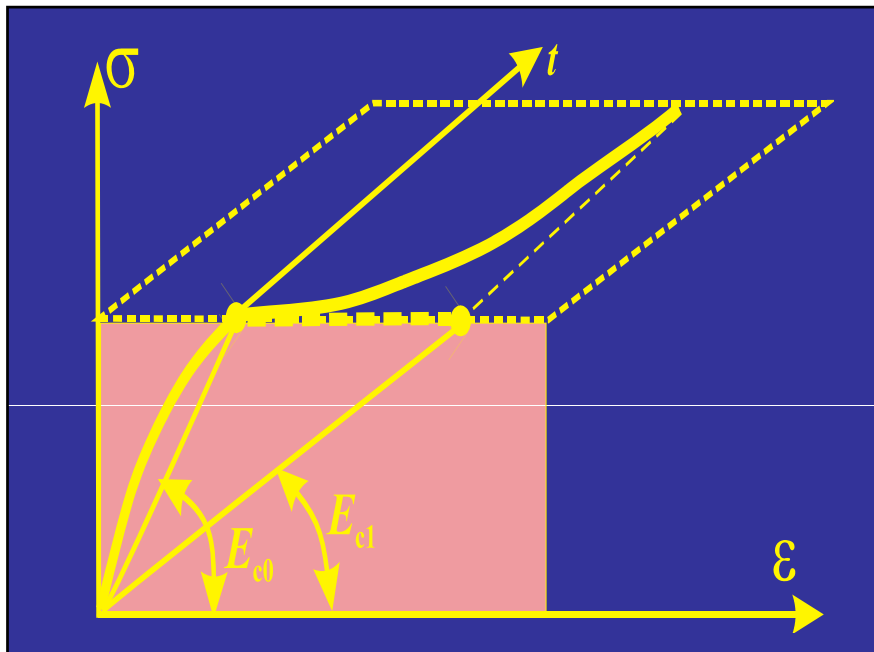
### 3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.

#### Учет физической нелинейности железобетона.

Учет деформаций ползучести бетона



СП 52-101-03 предлагают учитывать деформации ползучести и вводят понятие о «приведенном модуле упругости» для расчета на длительно действующие нагрузки.



$$E_{b,\tau} = E_b / (1 + \Phi_{b,cr})$$

$$\Phi_{b,cr} = 1,0 \dots 3,4$$



### **3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.**

#### **Учет физической нелинейности железобетона.**

##### **Проблема**

Современная механика железобетона, позволяющая учесть многие особенности его работы (физическая нелинейность, трещинообразование, ползучесть, усадку, особенности сцепления бетона с арматурой), не имеет адекватной реализации в общей концепции процесса проектирования сложных объектов строительства.

Следует учитывать: практически все, что предлагает нам наука и нормы проектирования, относится к достаточно простым конструктивным элементам (чаще всего просто стержень, да еще и не в общем случае напряженного состояния) при единственном варианте загрузки.

*«По-видимому, основным при расчете плоских безбалочных перекрытий будет являться расчет с использованием ЭВМ. Не совсем ясно, в каких случаях, в какой мере и каким образом в этом случае следует учитывать проявление неупругих свойств железобетона, в какой мере следует допускать перераспределение моментов...»*

*Н.И.Карпенко, 2004 год*

##### **Общие вопросы к технологии учета нелинейной работы железобетона:**

1. Как выбрать расчетную комбинацию нагрузок, если не использовать принцип суперпозиции.
2. Как найти то сочетание нагрузок и (самое главное!) последовательность их действия, чтобы решить задачу теории ползучести
3. Как выполнить динамический расчет (ветровые пульсации, сейсмика), если соответствующие методики ориентированы на использование модального анализа, а он применим только к линейным системам.
4. Каким образом можно проверить общую устойчивость системы, если методика определения критического состояния разработана только для упругих систем.

### **3. Расчетные модели монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий.**

#### **Учет физической нелинейности железобетона.**

##### **Альтернативные варианты решений при расчетах с учетом нелинейной работы железобетона.**

1. Заменить поиск РСУ заданием некоторого набора заранее определенных комбинаций нагрузок и при этом потерять уверенность в том, что не пропущена самая опасная комбинация.
2. Придумать стандартные режимы реализации последовательности нагрузок и определять деформации ползучести только для этих режимов.
3. Отказаться от динамических расчетов, перейдя на использование коэффициентов динамичности, которые установлены для нескольких типичных случаев и не обязательно соответствуют рассматриваемому случаю.
4. Заменить проверку устойчивости равновесия расчетом по деформированной схеме, заранее предполагая, что появление принципиально отличной формы деформирования невозможно.

#### **Учет физической нелинейности железобетона.**

##### **Технология расчетов с учетом требований норм и технологических возможностей расчетных процедур.**

1. Расчет несущих конструкций в линейной постановке с использованием отдельных загрузжений (на принципе суперпозиции), формирование РСУ, расчет армирования конструктивных элементов по нормам на основе деформационных критериев (т.е. с учетом физической нелинейности).
2. Расчет (обобщенный) деформаций железобетонных конструкций с учетом ползучести (с применением редуцированного модуля упругости ( $E_{red}$ ) с использованием назначаемых комбинаций загрузжений).
3. Расчет деформаций отдельных железобетонных элементов по «точным» методикам с учетом установленного армирования и назначаемых комбинаций загрузжений.

#### **4. Конструкции фундаментов и заглубленных частей многоэтажных и высотных зданий.**

##### **Основные типы конструкций фундаментов:**

1. Фундаментные плиты;
2. Свайные фундаменты;
3. Комбинированные плитно-свайные фундаменты.

##### **Конструктивные решения фундаментных конструкций должны обеспечивать:**

- Несущую способность основания и элементов фундаментных конструкций здания;
- Непревышение деформаций основания предельно допустимых величин;
- Устойчивость конструктивной системы здания в целом и фундаментных конструкций в частности.

**Для подтверждения обоснованности принятых конструктивных решений выполняются расчетные проверки основания и фундаментных конструкций, здания в целом и отдельных конструктивных элементов.**

**Главный параметр для расчетов основания – деформационные свойства основания (коэффициент постели) – НОРМАМИ НЕ ОПРЕДЕЛЕН!**

##### **Существующие решения:**

- Модель основания Винклера – коэффициент постели  $C$ ;
- Модель основания Пастернака - коэффициент постели  $C_1$  и  $C_2$  (учет распределительных свойств основания);
- Модель В.Г. Федоровского – переменный коэффициент постели  $C$ .

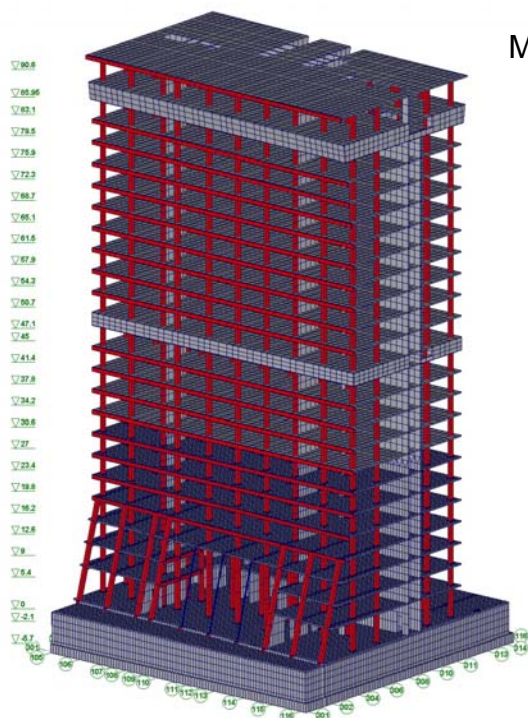
##### **Особенности моделей:**

- Модель основания Винклера – коэффициент постели  $C$ :
  - Отсутствие учета распределительных свойств основания;
  - Сложность в определении численного значения  $k$ -та  $C$ .
- Модель основания Пастернака - коэффициент постели  $C_1$  и  $C_2$  (учет распределительных свойств основания);
  - Сложность в определении численного значения  $k$ -тов  $C_1$  и  $C_2$  – необходимо знание величины сжимаемой толщи грунта (существенно неоднородна при существенно меняющихся напряжениях под подошвой фундаментной плиты).
- Модель В.Г. Федоровского – переменный коэффициент постели  $C$ .
  - Разработаны численные методы расчета значения  $k$ -та  $C_1$  на основе величин напряжений под фундаментной плитой, данных по геологическому строению основания и физико-механических характеристиках грунтов (реализованы в программном комплексе «КРОСС»).

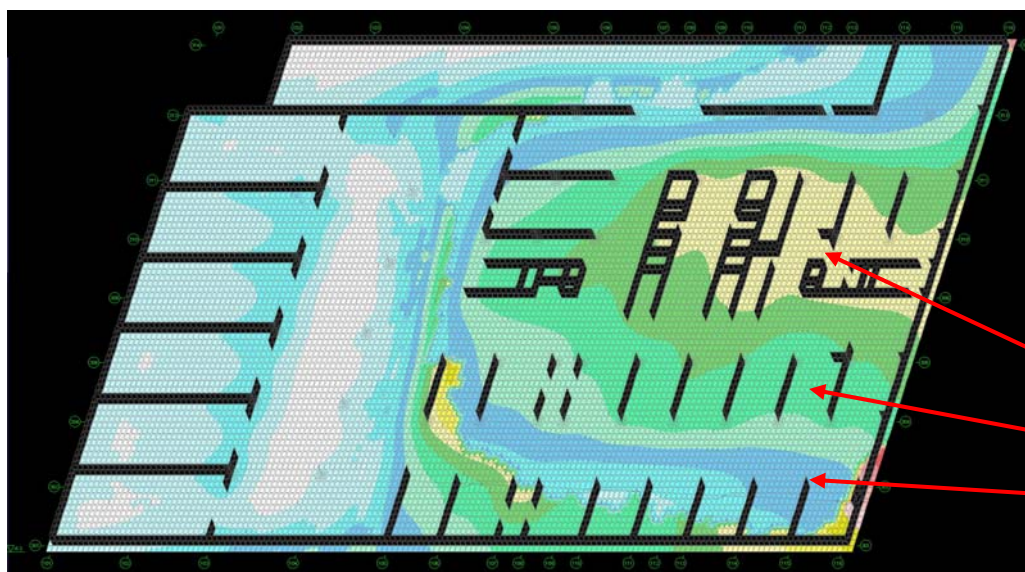
#### 4. Конструкции фундаментов и заглубленных частей многоэтажных и высотных зданий.

Технология расчета здания с учетом деформационных свойств основания (Модель В.Г. Федоровского – переменный коэффициент постели  $C$  т/м<sup>3</sup>).

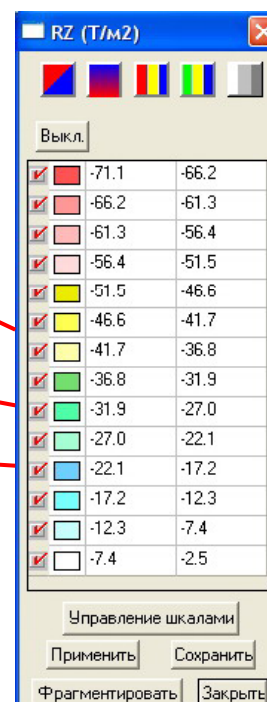
**1-й этап:** определение расчетных напряжений под подошвой фундамента (с учетом взаимного влияния надфундаментных конструкций).



Модель здания



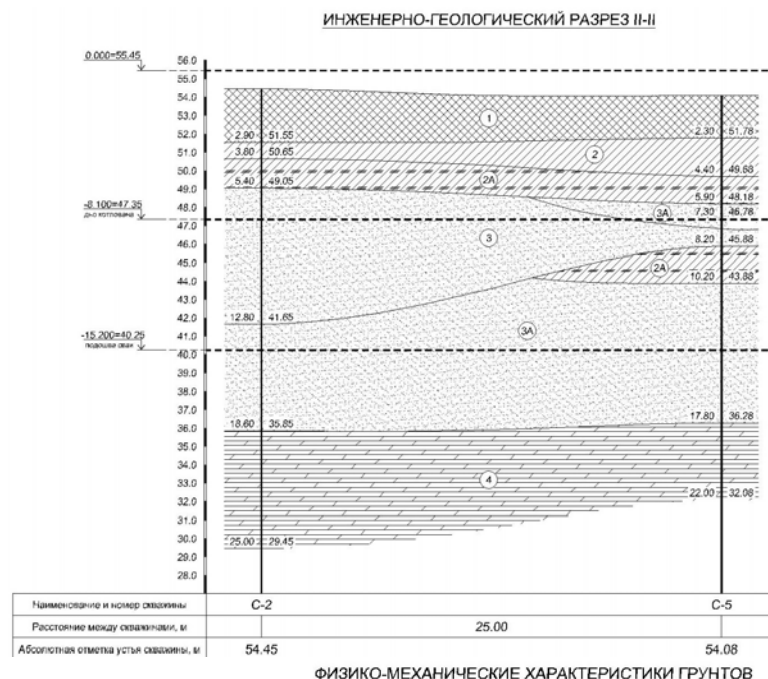
Изополя напряжений под фундаментной плитой (т/м<sup>2</sup>)



#### 4. Конструкции фундаментов и заглубленных частей многоэтажных и высотных зданий.

Технология расчета здания с учетом деформационных свойств основания (Модель В.Г. Федоровского – переменный коэффициент постели  $C$  т/м<sup>3</sup>).

2-й этап: модель грунтового основания площадки.



| Номер ИГЭ | Мощность слоя, м | Описание грунтов                                                                         | Природная влажность, д.е. $W$ | Степень влажности, д.е. $S_r$ | Число пластичности $I_p$ | Показатель текучести $I_L$ | Плотность грунта, т/м <sup>3</sup> $\rho$ | Плотность минер. частиц, т/м <sup>3</sup> $\rho_s$ | Коефф. пористости, д.е. $e$ | Угол внутр. трения, град. $\varphi$ | Удельн. сцепление, МПа $C$ | Модуль деформации, МПа $E$ |
|-----------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| ①         | 2.3÷3.6          | Наскль песчано-суглистая, неоднородная, с включениями строительного мусора               | ---                           | ---                           | ---                      | ---                        | ---                                       | ---                                                | ---                         | ---                                 | ---                        | ---                        |
| ②         | 0.9÷2.6          | Суглинок светло-коричневый, тугопластичный, с прослоями мелкого песка                    | 0.215                         | 0.82                          | 0.09                     | 0.39                       | 1.89                                      | 2.71                                               | 0.717                       | 19                                  | 0.018                      | 5                          |
| ②А        | 1.2÷2.6          | Суглинок светло-серый, серый, мелко-текучеplastичный с включениями органических остатков | 0.290                         | 0.98                          | 0.09                     | 0.80                       | 1.93                                      | 2.71                                               | 0.766                       | 17                                  | 0.015                      | 2                          |
| ③         | 0.9÷7.4          | Песок серый, мелкий, водонасыщенный, средней плотности                                   | 0.230                         | 0.93                          | ---                      | ---                        | 1.94                                      | 2.85                                               | 0.658                       | 25                                  | 0.0005                     | 23                         |
| ③А        | 0.9÷7.0          | Песок серый, мелкий, водонасыщенный, плотный                                             | 0.230                         | 1.07                          | ---                      | ---                        | 2.04                                      | 2.85                                               | 0.572                       | 27                                  | 0.0002                     | 47                         |
| ④         | 1.3÷6.4          | Глина серая, темно-серая, тугопластичная                                                 | 0.269                         | 0.81                          | 0.21                     | 0.29                       | 1.79                                      | 2.75                                               | 0.860                       | 14                                  | 0.027                      | 10                         |

Модель грунтового основания площадки в «КРОСС».

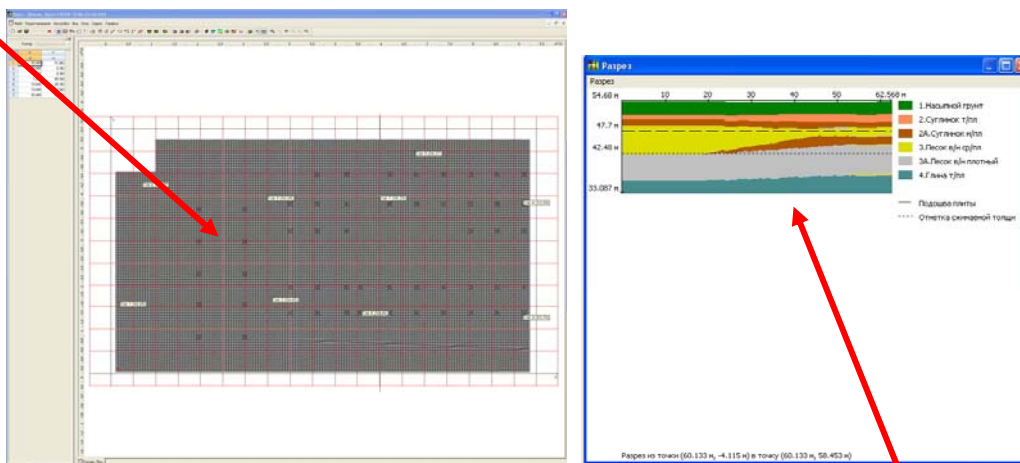


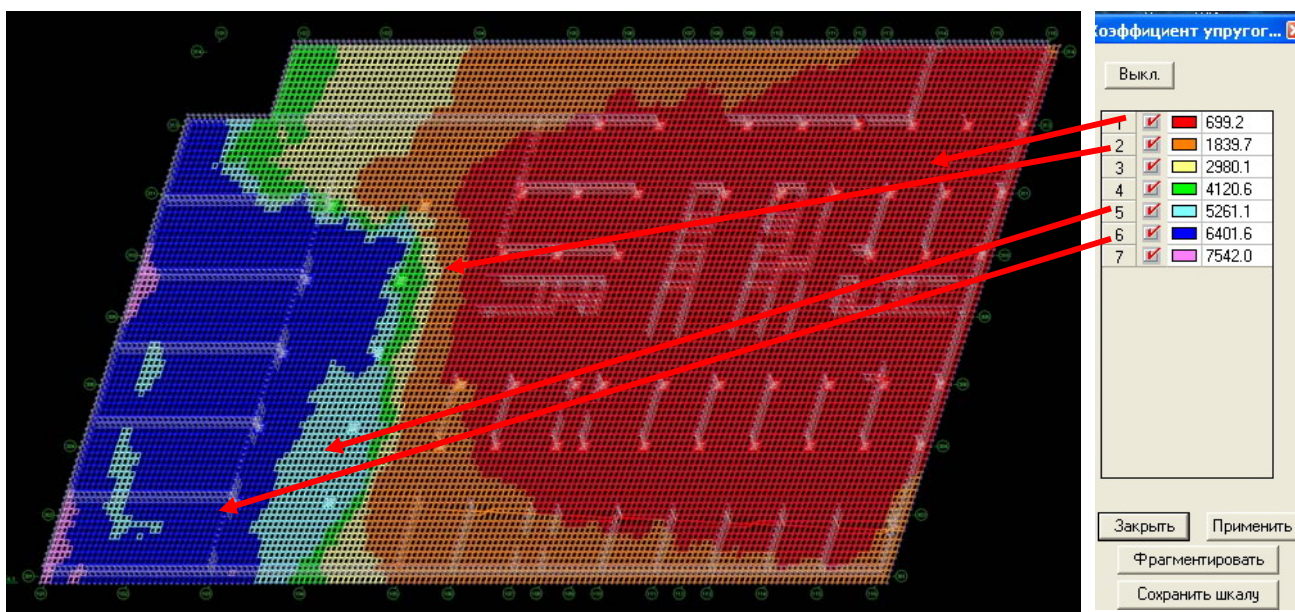
Схема геологического разреза в «КРОСС».



#### 4. Конструкции фундаментов и заглубленных частей многоэтажных и высотных зданий.

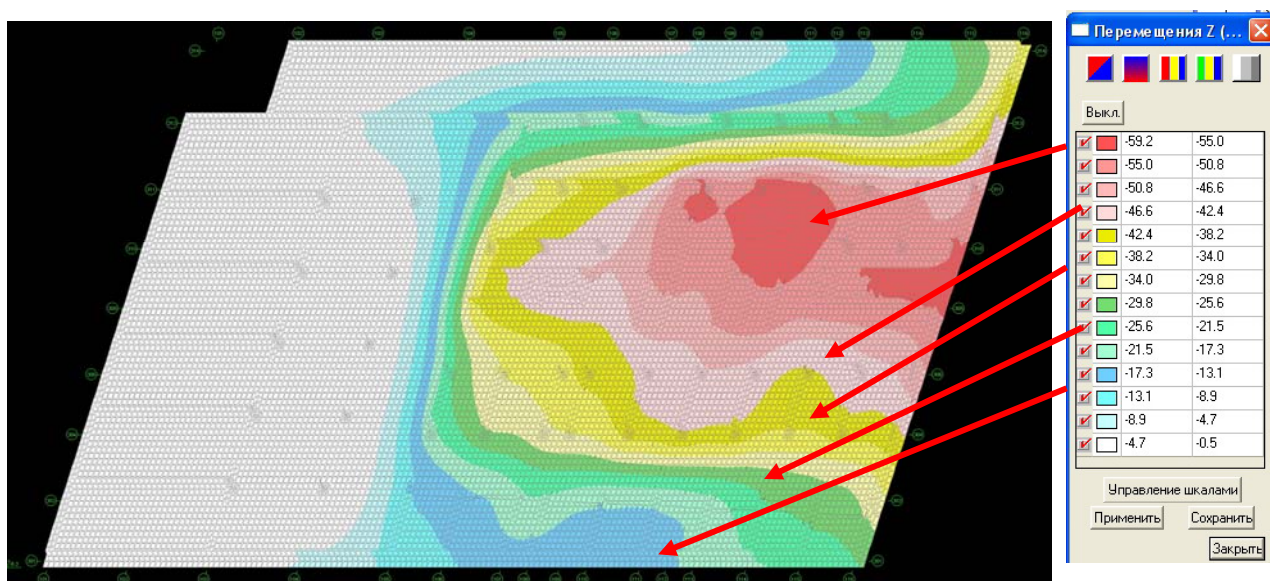
Технология расчета здания с учетом деформационных свойств основания (Модель В.Г. Федоровского – переменный коэффициент постели  $C$  т/м<sup>3</sup>).

**3-й этап:** расчет коэффициента постели  $C_1$  (комплекс «КРОСС» и передача результатов в «SCAD».



Изополя коэффициента постели  $C$  т/м<sup>3</sup>

**4-й этап:** расчет в «SCAD» модели здания (фрагмента) с определением деформаций, напряжений и армирования.



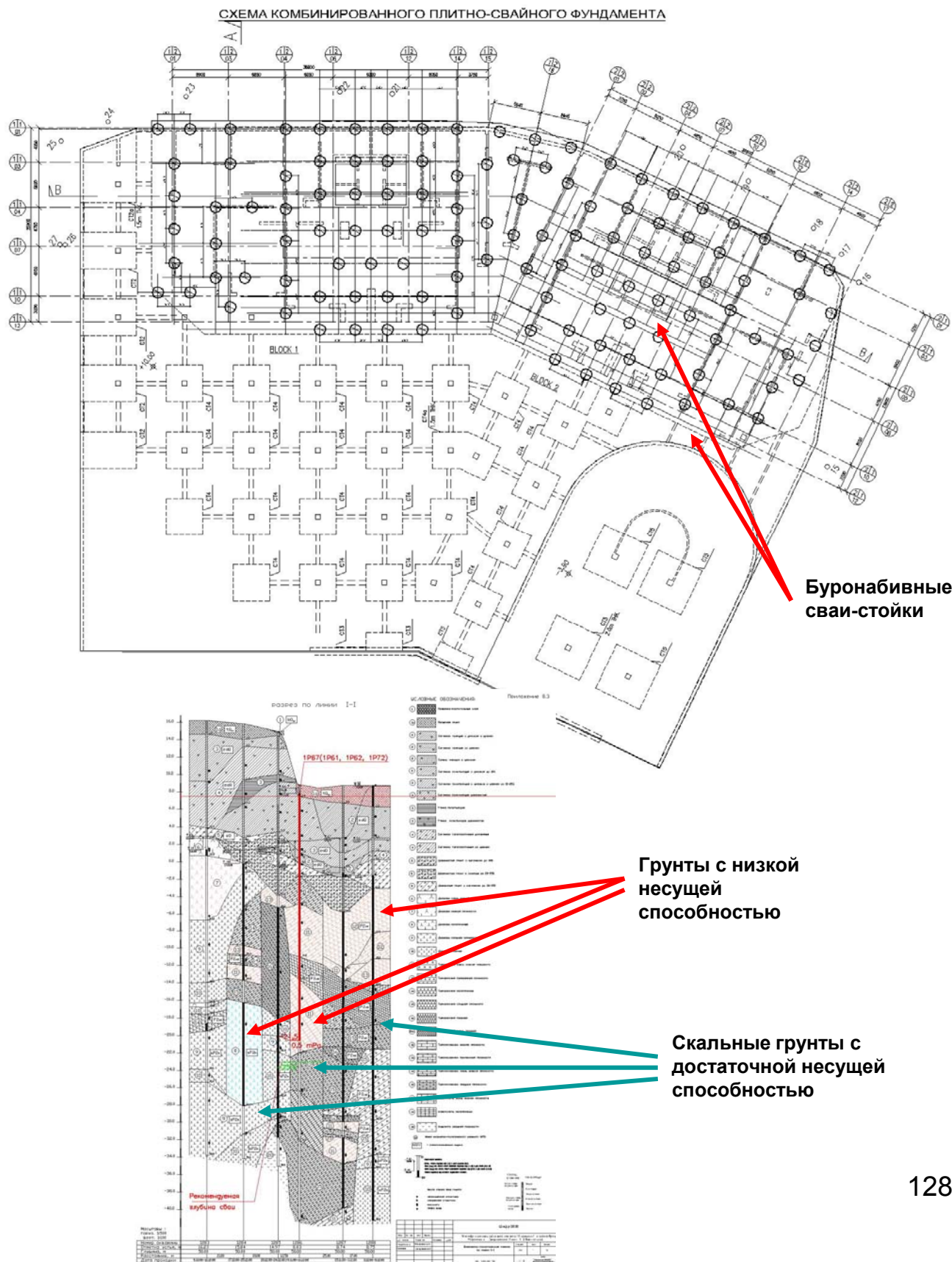
Изополя деформаций по  $Z$  (осадок фундаментной плиты (мм)).

#### **4. Конструкции фундаментов и заглубленных частей многоэтажных и высотных зданий.**

Основные типы конструкций фундаментов:

##### **1. Свайные и комбинированные плитно-свайные фундаменты**

###### **1.1 Сваи-стойки.**





## 4. Конструкции фундаментов и заглубленных частей многоэтажных и высотных зданий.

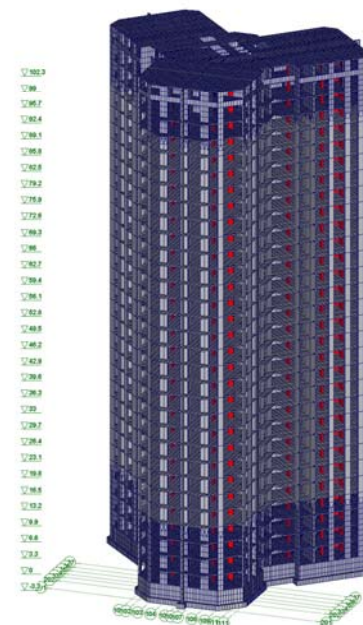
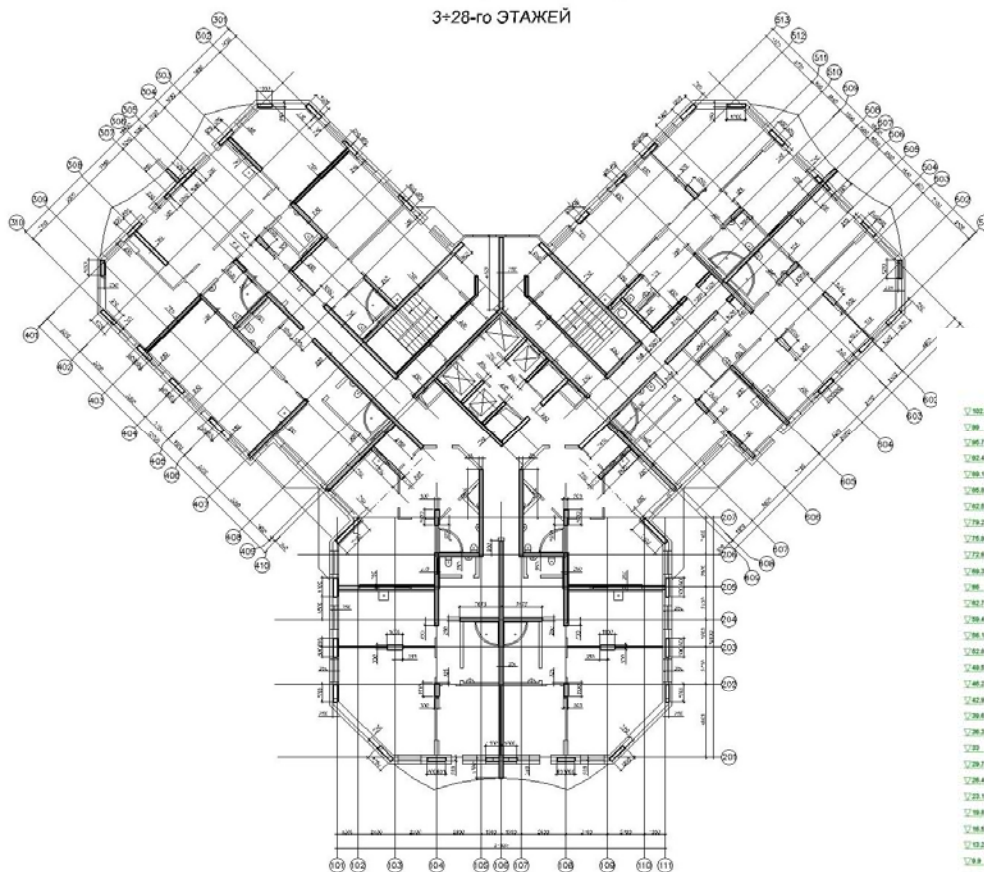
Основные типы конструкций фундаментов:

1. Свайные и комбинированные плитно-свайные фундаменты

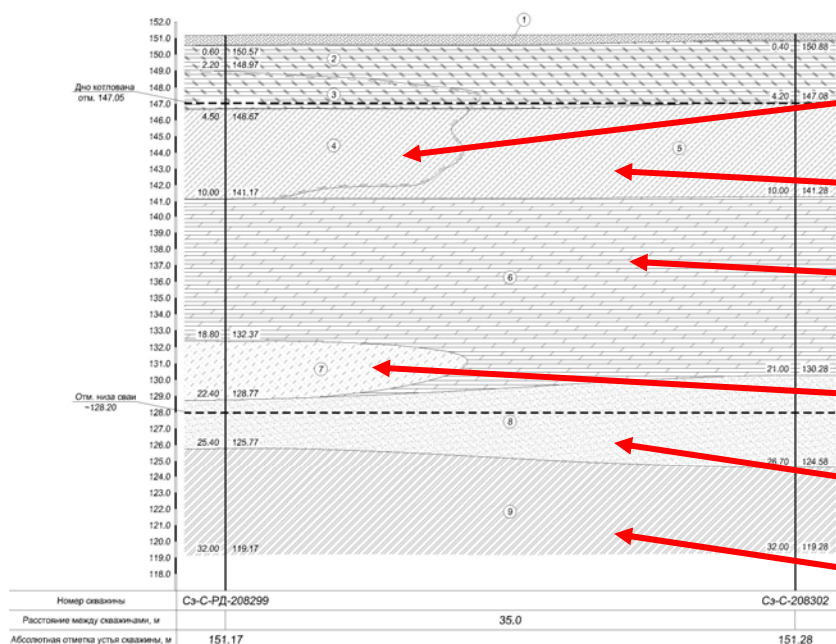
### 1.2 Висячие сваи.

СХЕМА НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

3+28-го ЭТАЖЕЙ



ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ II - II



ИГЭ-4 Суглинок пылеватый  $E=7,7$  МПа

ИГЭ-5 Суглинок пылеватый  $E=7,5$  МПа

ИГЭ-6 Супесь песчаная  $E=16,8$  МПа

ИГЭ-7 Суглинок пылеватый  $E=8,7$  МПа

ИГЭ-8 Песок пылеватый  $E=22$  МПа

ИГЭ-9 Супесь песчаная  $E=22$  МПа

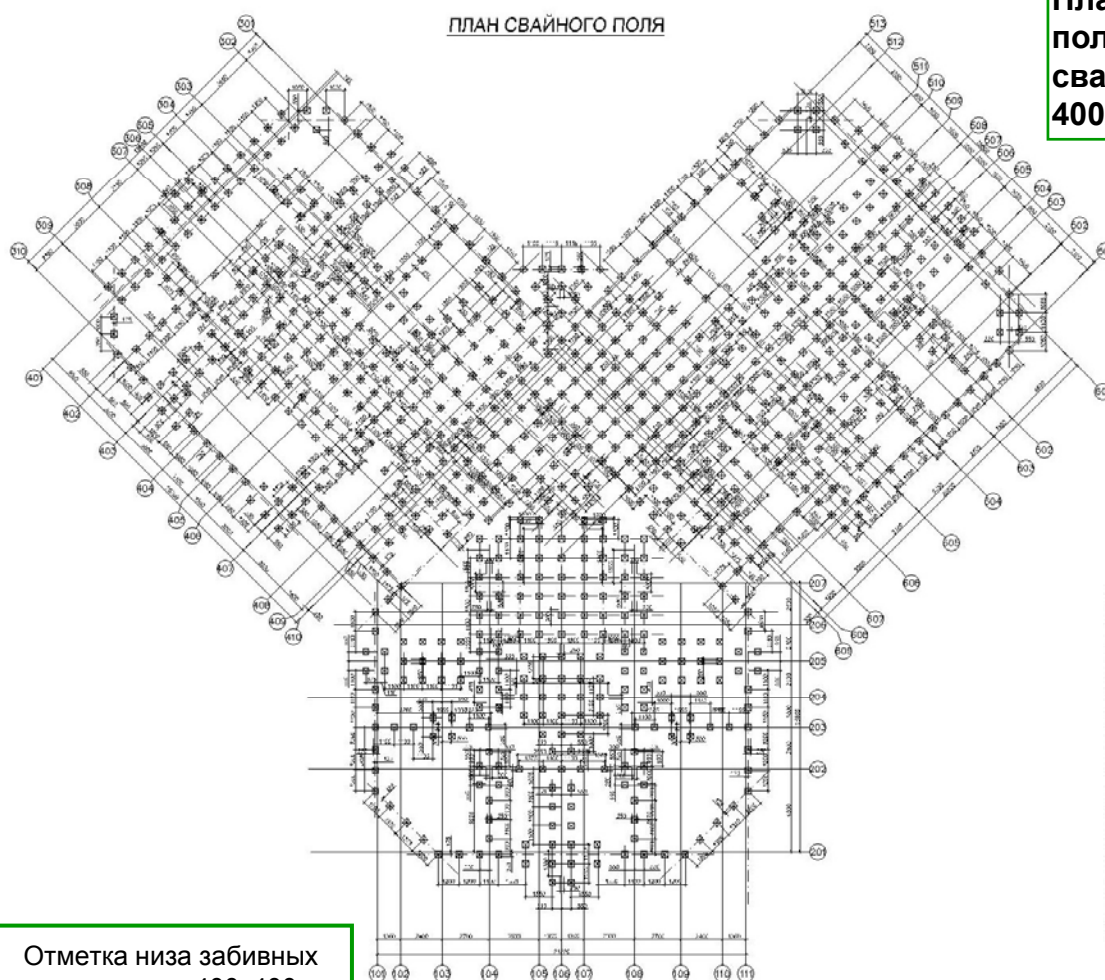
## 4. Конструкции фундаментов и заглубленных частей многоэтажных и высотных зданий.

Основные типы конструкций фундаментов:

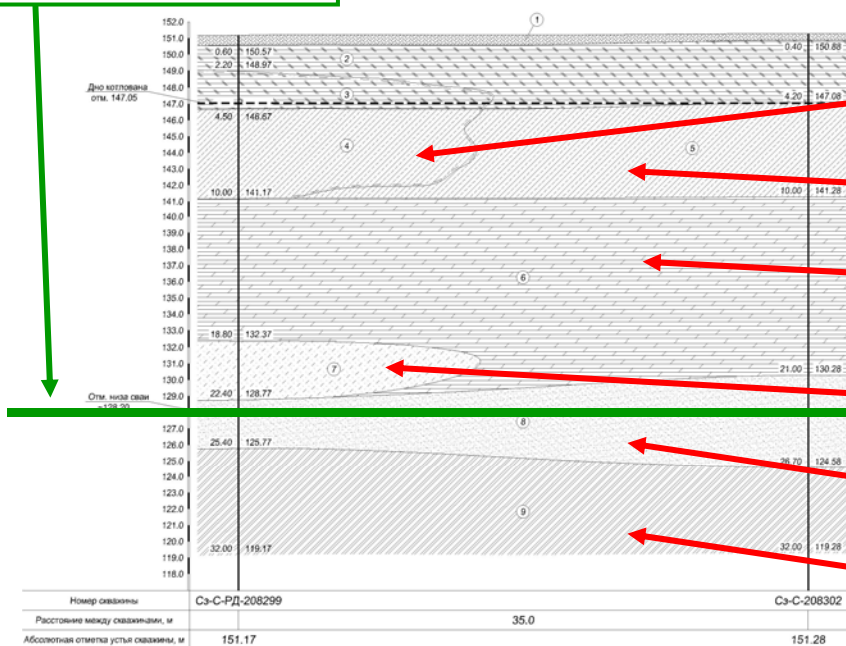
1. Свайные и комбинированные плитно-свайные фундаменты

### 1.2 Висячие сваи.

План свайного поля из забивных свай сечением 400х400 мм.



Отметка низа забивных висячих свай 400х400 мм



ИГЭ-4 Суглинок пылеватый  $E=7,7$  МПа

ИГЭ-5 Суглинок пылеватый  $E=7,5$  МПа

ИГЭ-6 Супесь песчаная  $E=16,8$  МПа

ИГЭ-7 Суглинок пылеватый  $E=8,7$  МПа

ИГЭ-8 Песок пылеватый  $E=22$  МПа

ИГЭ-9 Супесь песчаная  $E=22$  МПа

130

**Высокозатратное и трудоемкое конструктивное решение!**

## 4. Конструкции фундаментов и заглубленных частей многоэтажных и высотных зданий.

Основные типы конструкций фундаментов:

### 1. Свайные и комбинированные плитно-свайные фундаменты

#### 1.2 Висячие сваи.

#### 1.2.1. Расчет деформационных свойств свайных фундаментов.

К расчету осадок свайных и свайно-плитных фундаментов

С.В.Курилло, А.Г.Скороходов, В.Г.Федоровский  
НИИОСП, Москва, Россия

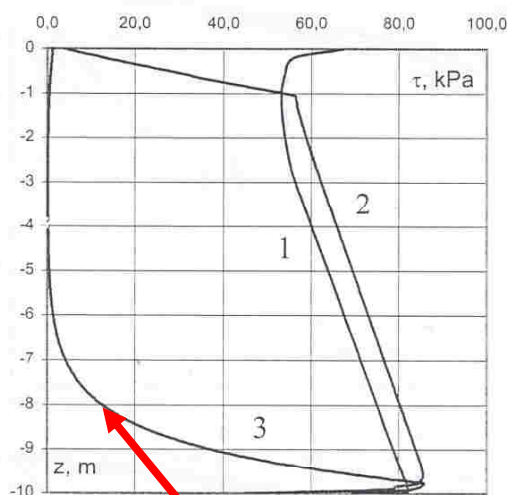


Рис. 3. Эпюры контактного трения по длине свай для одиночной сваи (1), сваи из поля с шагом 1 м (2) и для одиночной сваи под плитой (3)

Свая в составе свайного поля (с малым расстоянием между сваями) работает по боковой поверхности только в пределах 15-20% длины!

Осадки свай в составе свайного поля (с малым расстоянием между сваями) многократно превышают осадки одиночных свай!

Возможность использования методики расчетного коэффициента постели свайного фундамента на основе расчетных деформаций свай в составе свайного поля:

$$S_G = s_1 R_s$$

$$1.1 < R_s < 13.80$$

Принципиальные положения механики контактного трения свай.

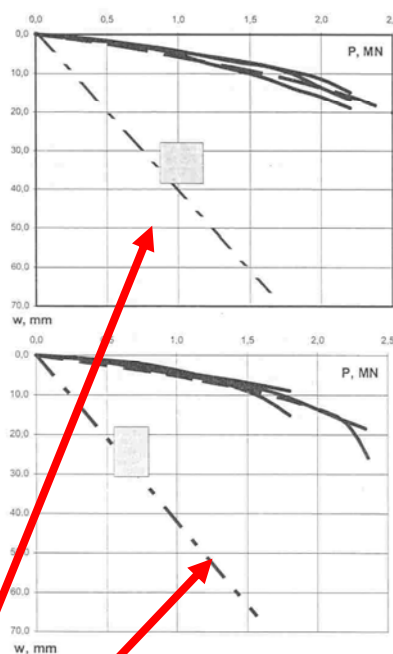


Рис. 4. Графики «нагрузка (на сваю) – осадка» для одиночных свай (экспериментальные — и расчетные - - -) и свайного поля (- - - -). Серые прямоугольники показывают диапазоны нагрузок и измеренных осадок для 34-этажного (а) и 23-этажного (б) корпусов

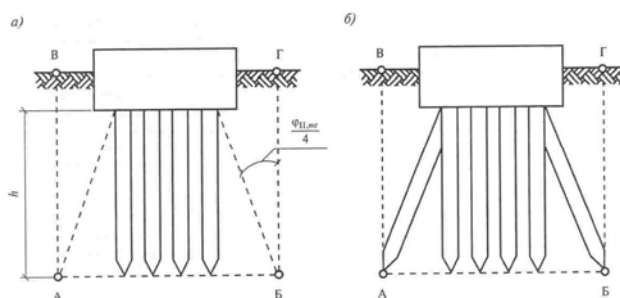


Рисунок 1 — Определение границ условного фундамента при расчете осадки свайных фундаментов



## 4. Конструкции фундаментов и заглубленных частей многоэтажных и высотных зданий.

Основные типы конструкций фундаментов:

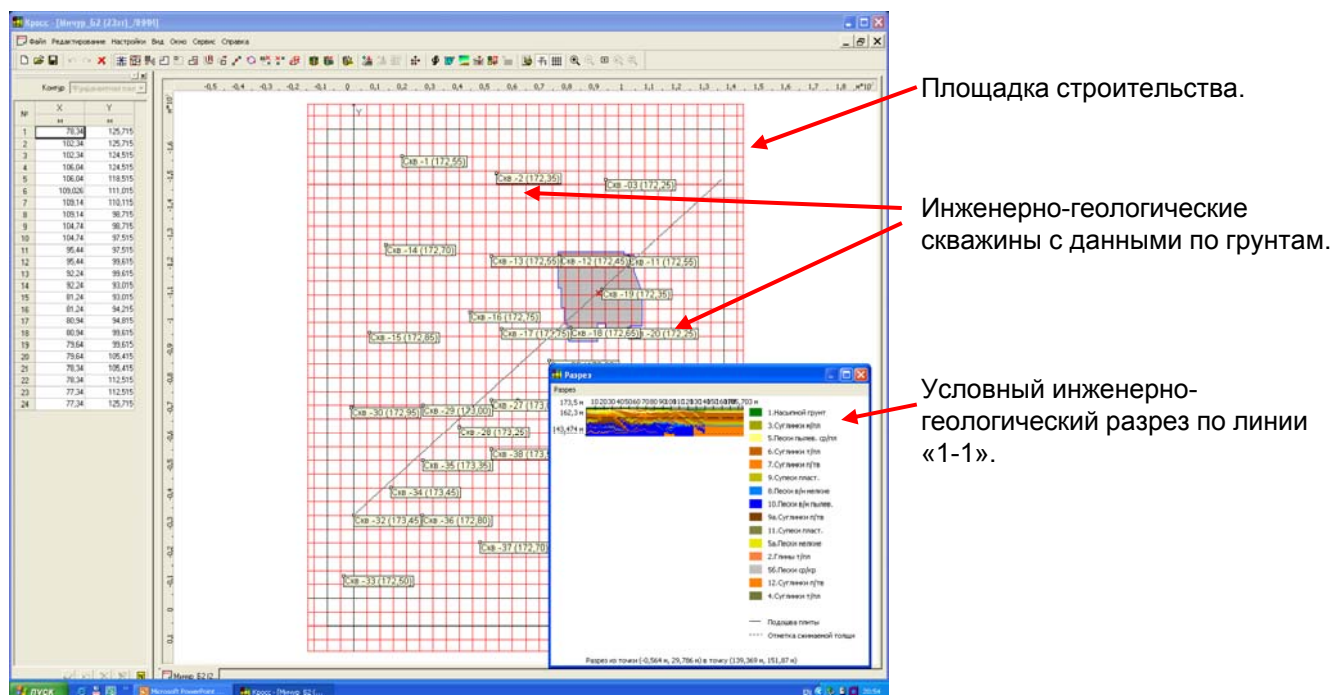
### 1. Свайные и комбинированные плитно-свайные фундаменты

#### 1.2 Висячие сваи.

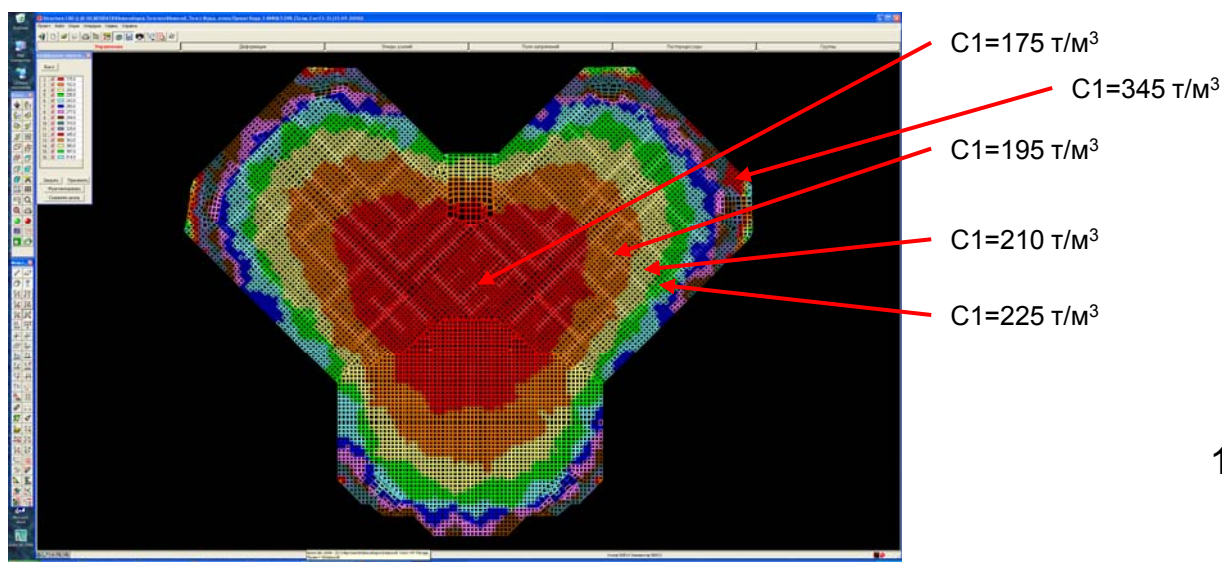
#### 1.2.1. Расчет деформационных свойств свайных фундаментов.

Расчет численными методами (методика В.Г. Федоровского) коэффициента постели свайного фундамента на основе модели деформирования грунтового основания на глубинах 80-90% длины висячих свай.

Расчетный комплекс «КРОСС»



Плитно-свайный фундамент 30-ти этажного дома.  
Вариант с буронабивными сваями (CFA) D800 мм L=11 м.  
Расчетные значения коэффициента постели C1.



#### **4. Конструкции фундаментов и заглубленных частей многоэтажных и высотных зданий.**

Основные типы конструкций фундаментов:

##### **1. Свайные и комбинированные плитно-свайные фундаменты**

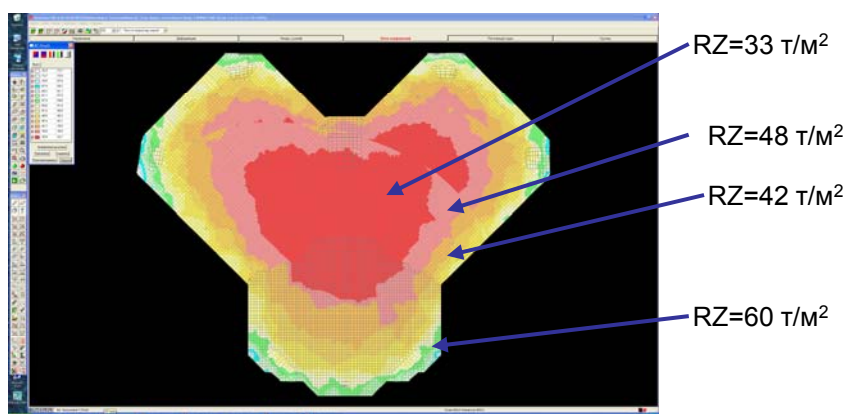
##### **1.2 Висячие сваи.**

##### **1.2.1. Расчет деформационных свойств свайных фундаментов.**

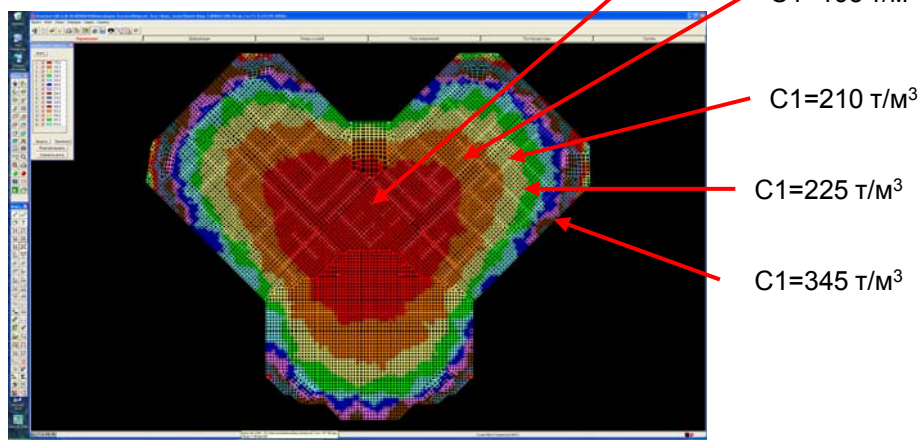
Плитно-свайный фундамент 30-ти этажного дома.

Вариант с буронабивными сваями (CFA) D800 мм L=11 м.

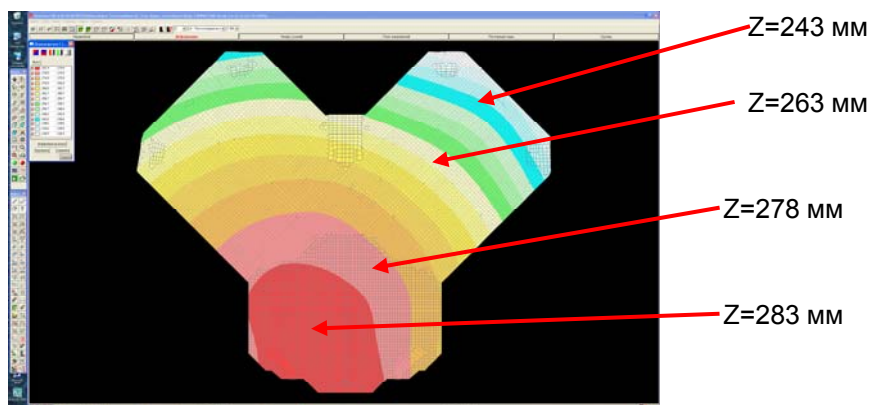
Расчетные значения напряжений на глубине 90% длины свай (RZ).



Плитно-свайный фундамент 30-ти этажного дома.  
Вариант с буронабивными сваями (CFA) D800 мм L=11 м.  
Расчетные значения коэффициента постели C1.



Плитно-свайный фундамент 30-ти этажного дома.  
Вариант с буронабивными сваями (CFA) D800 мм L=11 м.  
Расчетные значения осадок фундамента.



Расчетная технология прогноза осадок свайных и свайно-плитных фундаментов с использованием висячих свай – необходимый инструмент проектирования фундаментов многоэтажных и высотных зданий.

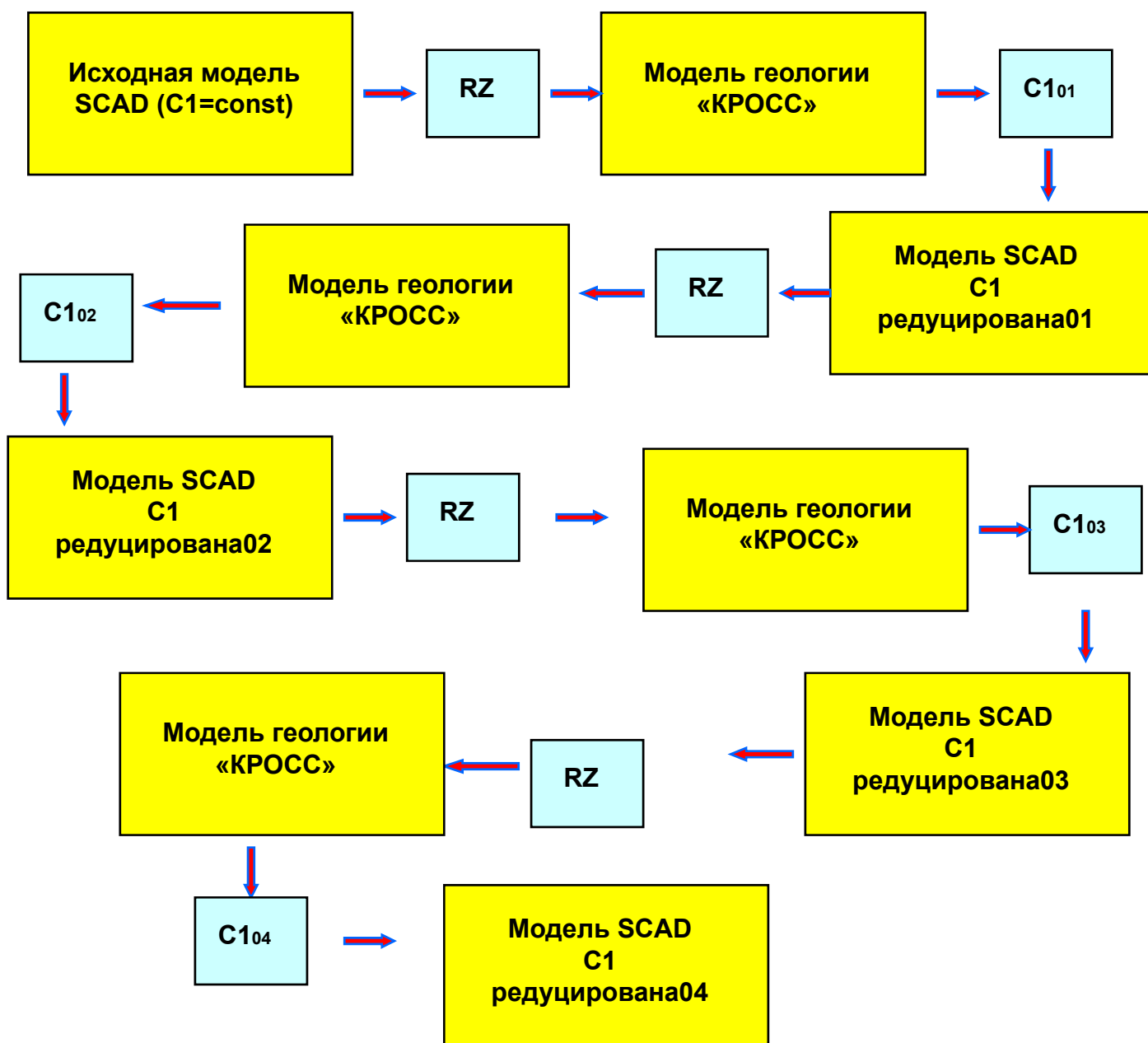
#### 4. Конструкции фундаментов и заглубленных частей многоэтажных и высотных зданий.

Основные типы конструкций фундаментов:

##### 1. Свайные и комбинированные плитно-свайные фундаменты

##### 1.2 Висячие сваи.

##### 1.2.1. Расчет деформационных свойств свайных фундаментов. Итерационная технология расчета C1.



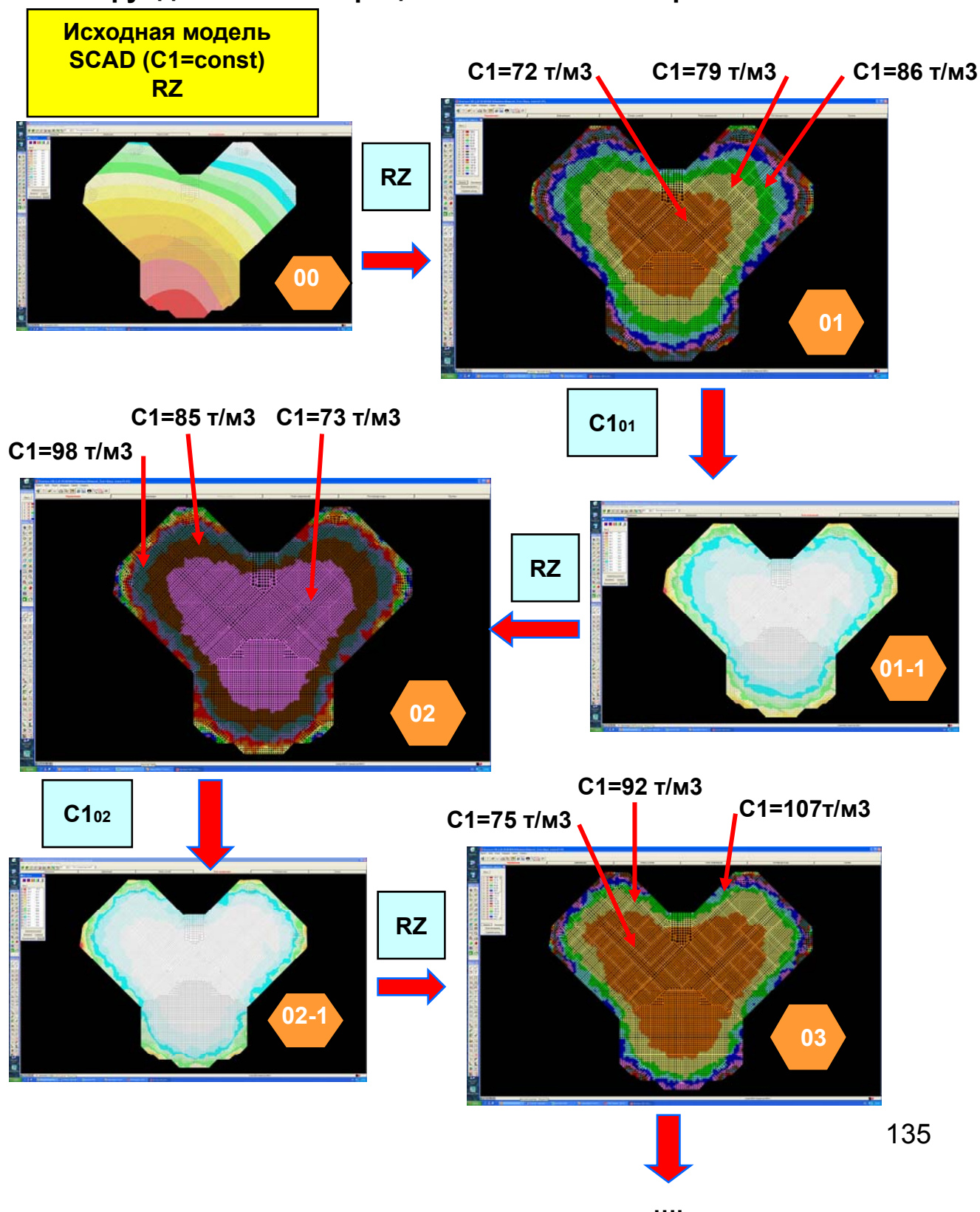
#### 4. Конструкции фундаментов и заглубленных частей многоэтажных и высотных зданий.

Основные типы конструкций фундаментов:

##### 1. Свайные и комбинированные плитно-свайные фундаменты

##### 1.2 Висячие сваи.

##### 1.2.1. Расчет деформационных свойств свайных фундаментов. Итерационная технология расчета $C_1$ .





## **5. Защита монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий от прогрессирующего обрушения.**

Основная цель конструктивных решений:

**Обеспечение сопротивляемости несущих конструкций здания прогрессирующему (лавинообразному) обрушению.**

### **Нормативные документы:**

- СП 52-103-2007 «Железобетонные монолитные конструкции зданий»;
- «Рекомендации по защите монолитных зданий от прогрессирующего обрушения» (Москомархитектура, 2005 г.);
- «Пособие по проектированию жилых зданий. Вып. 3. Конструкции жилых зданий (к СНиП 2.08.01-85» (М. СИ 1989 г.)

### **Нормирование воздействия :**

Отечественные нормы:

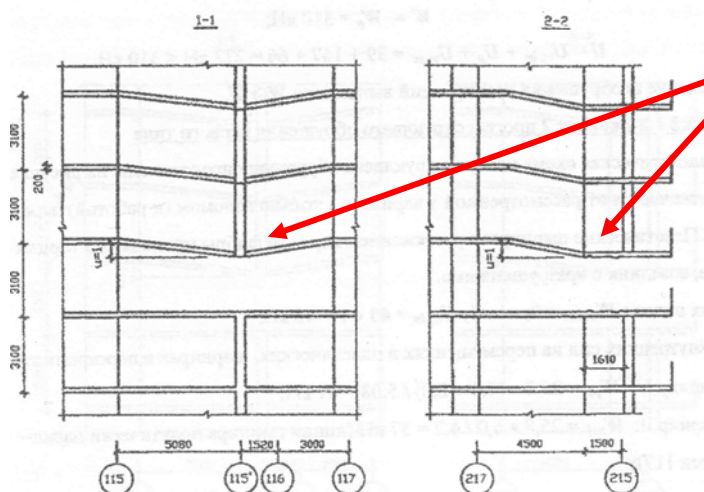
- **Воздействие** - удаление любого вертикального несущего элемента и соответствующие механизмы прогрессирующего обрушения.
- **Оценка конструкций** – по критериям I группы предельных состояний (с отсутствием ограничений по деформациям и раскрытию трещин).

Зарубежные нормы:

- **Воздействие:** +силовое аварийное воздействие ( $A_k$ )
- США (ASCE [C2.5]) :  $1,2D + A_k + (0,5L \text{ или } 0,5S)$
- Европейские нормы (Eurocode 1) :  $D + A_k + 0,5L$  или  
 $D + A_k + 0,2S + 0,3L$  или  
 $D + A_k + 0,5W + 0,3L$

### **Механизмы прогрессирующего обрушения:**

Механизм I типа:



Поступательное смещение вниз вертикальных конструкций (или отдельных их частей), расположенных над локальным разрушением.



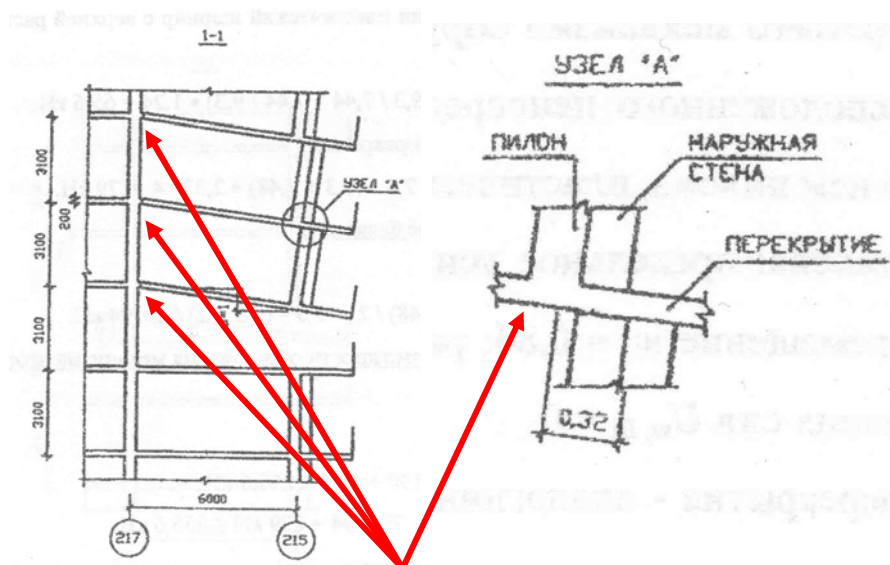
## **5. Защита монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий от прогрессирующего обрушения.**

Основная цель конструктивных решений:

**Обеспечение сопротивляемости несущих конструкций здания прогрессирующему (лавинообразному) обрушению.**

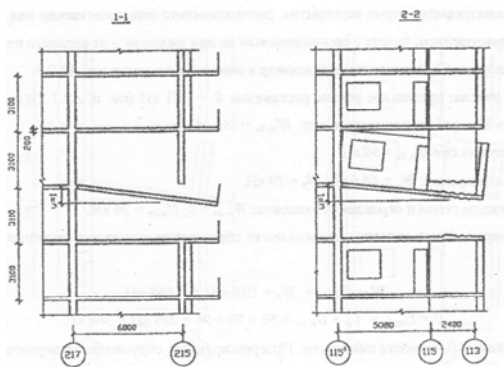
**Механизмы прогрессирующего обрушения:**

Механизм II типа:



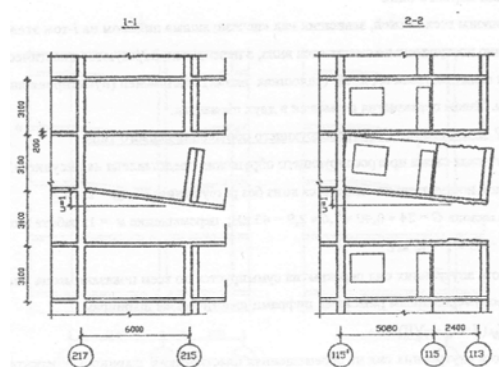
Одновременный поворот каждой конструктивной части здания, расположенной над локальным разрушением, вокруг своего центра вращения (при разрушении связей этих конструкций с неповрежденными элементами здания).

Механизм III типа:



Отрыв перекрытия, расположенного непосредственно над локальным разрушением, от расположенного над ним пилон.

Механизм IV типа:



Отрыв перекрытия, расположенного непосредственно над локальным разрушением, вместе с расположенного на перекрытии пилоном.

## **5. Защита монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий от прогрессирующего обрушения.**

Основная цель конструктивных решений:

**Обеспечение сопротивляемости несущих конструкций здания прогрессирующему (лавинообразному) обрушению.**

**Анализ возможности реализации механизмов прогрессирующего обрушения типов II; III; IV**

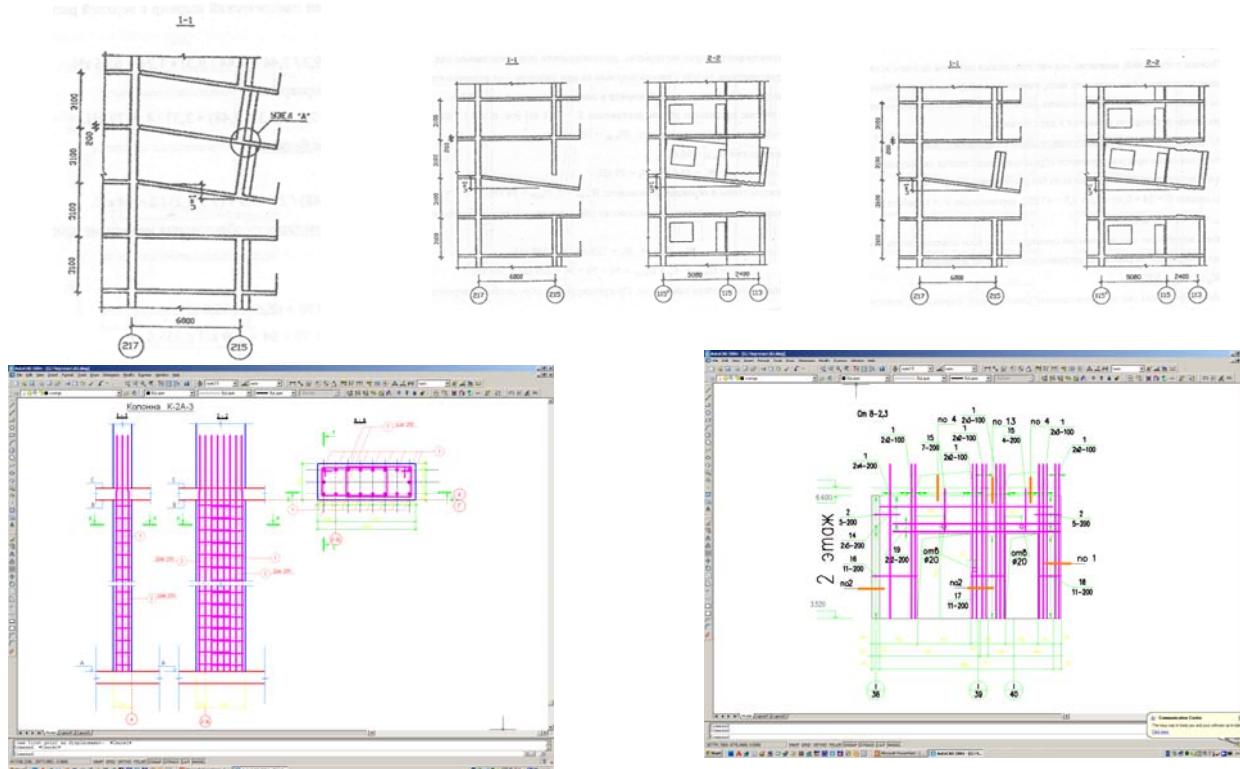


Схема конструктивного решения монолитной железобетонной колонны: арматурные стержни обеспечивают связь расположенных друг над другом колонн.

Схема конструктивного решения монолитной железобетонной стены: арматурные стержни обеспечивают связь расположенных друг над другом стен.

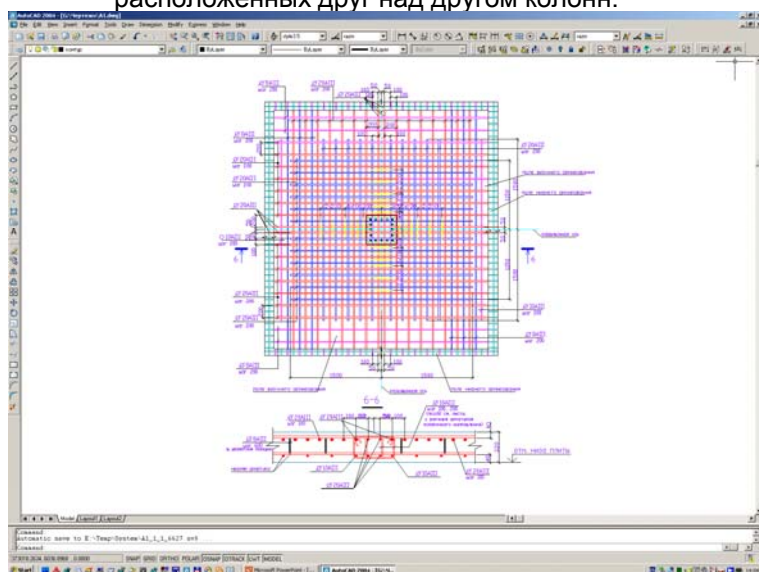


Схема конструктивного решения монолитного железобетонного перекрытия: арматурные стержни не прерываются на опоре (колонне).

**Вывод: конструктивные решения монолитных железобетонных конструкций обеспечивают невозможность реализации механизмов прогрессирующего обрушения типов II; III; IV**

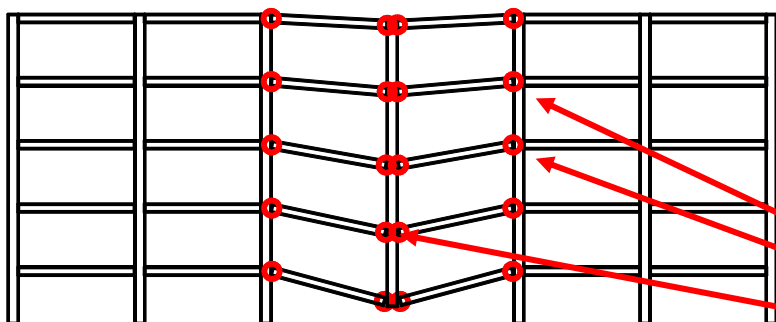
## **5. Защита монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий от прогрессирующего обрушения.**

Основная цель конструктивных решений:

**Обеспечение сопротивляемости несущих конструкций здания прогрессирующему (лавинообразному) обрушению.**

**Анализ возможности реализации механизмов прогрессирующего обрушения типа I.**

Схема несущих конструкций монолитного здания. Разрушение средней колонны.



В железобетонных конструкциях формируются локальные участки с разрушенным бетоном.

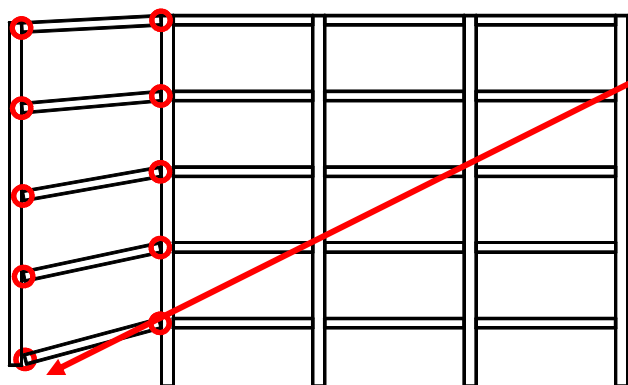
Продольная арматура утрачивает признаки нормативной локализации.

На участках с разрушенным бетоном продольная арматура работает по принципу растяжимой нити (при обеспечении необходимой анкеровки).

### **Предложения по принципам формирования расчетной модели:**

Расчет железобетонных конструкций здания по схеме с врезанными шарнирами в геометрически нелинейной постановке с проверкой арматуры по критериям растяжимой нити.

Схема несущих конструкций монолитного здания. Разрушение крайней колонны.



При «удалении» крайних несущих элементов железобетонных каркасных зданий обеспечить необрушение конструкций в рамках традиционных конструктивных решений не представляется возможным.

**Предложения по принципам обеспечения устойчивости от прогрессирующего обрушения:**

- Применение специальных конструктивных приемов, позволяющих зафиксировать конструкции, расположенные над «удаленным» элементом (например – подвеска колонн к верхним этажам)
- Применение в качестве ключевых элементов здания конструкций, обладающих большими запасами несущей способности (по примеру зарубежных норм).
- Применение резервных несущих элементов, дублирующих ключевые конструкции здания.

## **5. Защита монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий от прогрессирующего обрушения.**

Основная цель конструктивных решений:

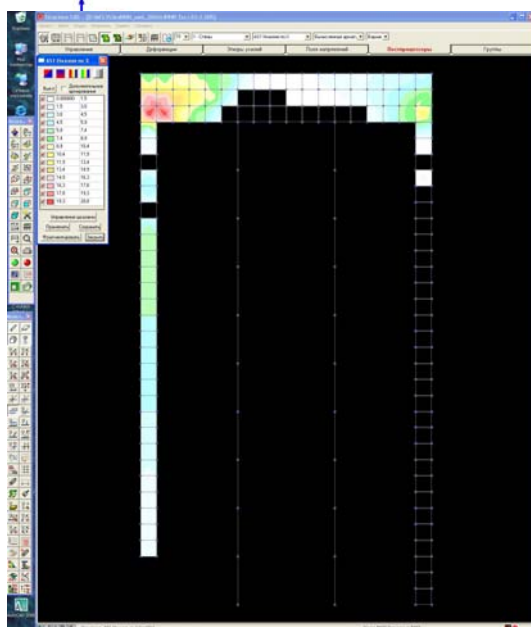
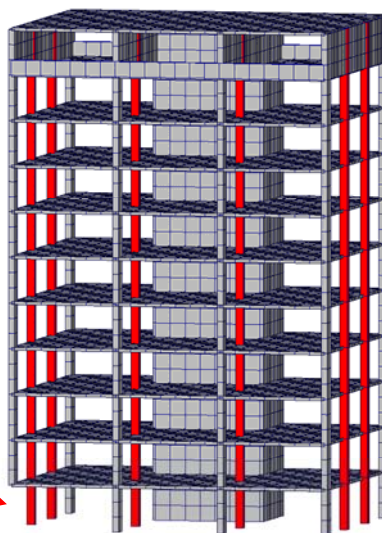
**Обеспечение сопротивляемости несущих конструкций здания прогрессирующему (лавинообразному) обрушению.**

**Предложения по конструктивным решениям, обеспечивающим защиту зданий от прогрессирующего обрушения: «Подвеска» колонн над удаленным элементом**

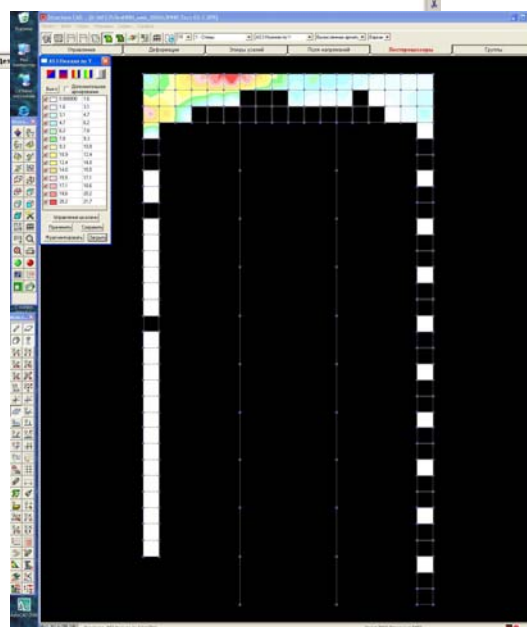
Конструкции повышенной жесткости (стены и балки) в верхнем ярусе здания



Удаленная угловая колонна



Расчетное вертикальное армирование конструкций ( $A_{Smax}=20,8 \text{ см}^2/\text{м}$ )



Расчетное горизонтальное армирование конструкций ( $A_{Smax}=21,7 \text{ см}^2/\text{м}$ )

**Вывод: «Специальные» конструктивные решения могут обеспечить защиту здания от прогрессирующего обрушения.**



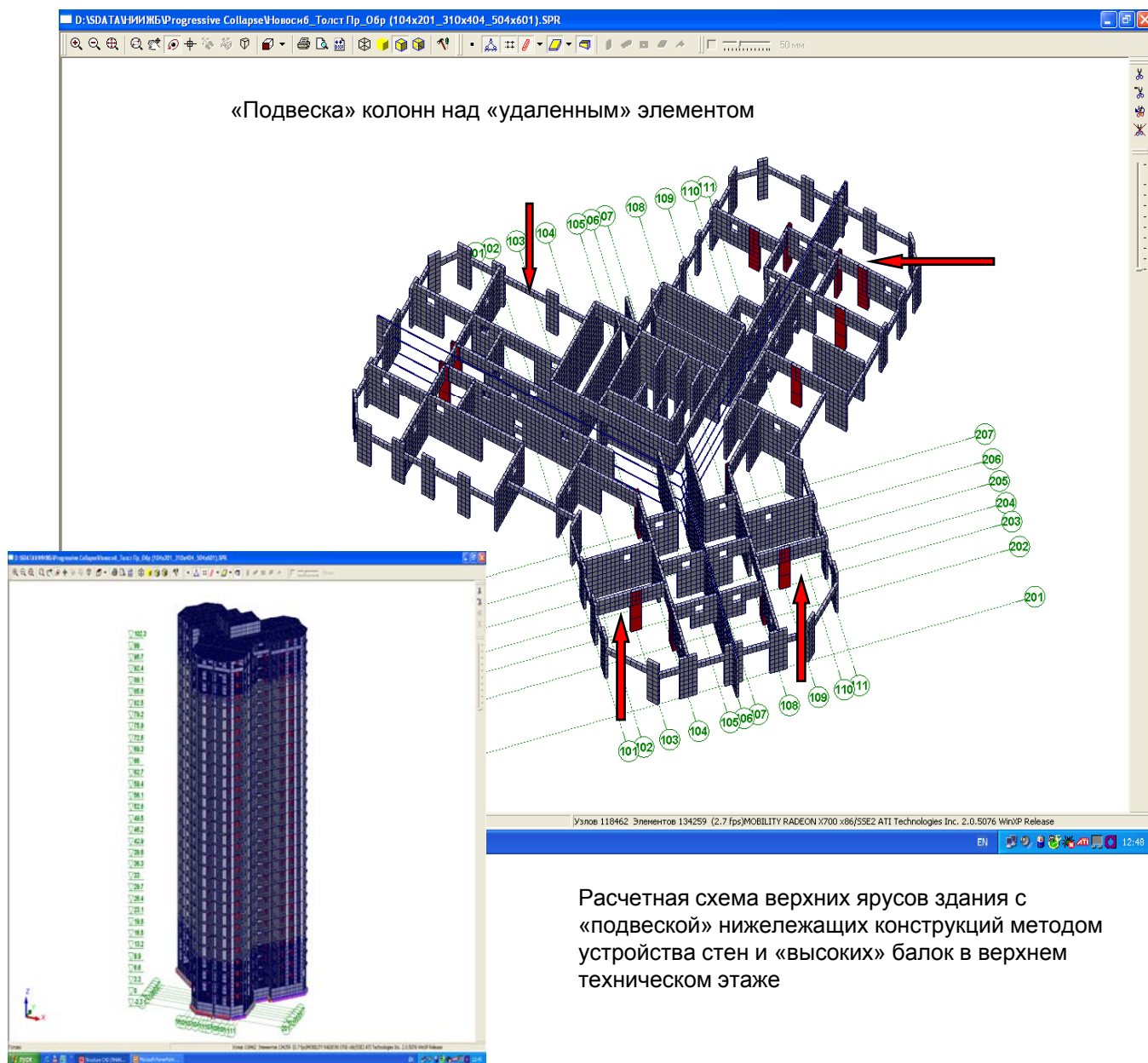
## **5. Защита монолитных железобетонных многоэтажных и высотных зданий от прогрессирующего обрушения.**

Основная цель конструктивных решений:

**Обеспечение сопротивляемости несущих конструкций здания прогрессирующему (лавинообразному) обрушению.**

**Предложения по конструктивным решениям, обеспечивающим защиту зданий от прогрессирующего обрушения: «Подвеска» колонн над удаленным элементом**

**Проект 30-ти этажного жилого дома**



Расчетная схема верхних ярусов здания с «подвеской» нижележащих конструкций методом устройства стен и «высоких» балок в верхнем техническом этаже

**«Специальные» конструктивные решения могут обеспечить защиту здания от прогрессирующего обрушения.**

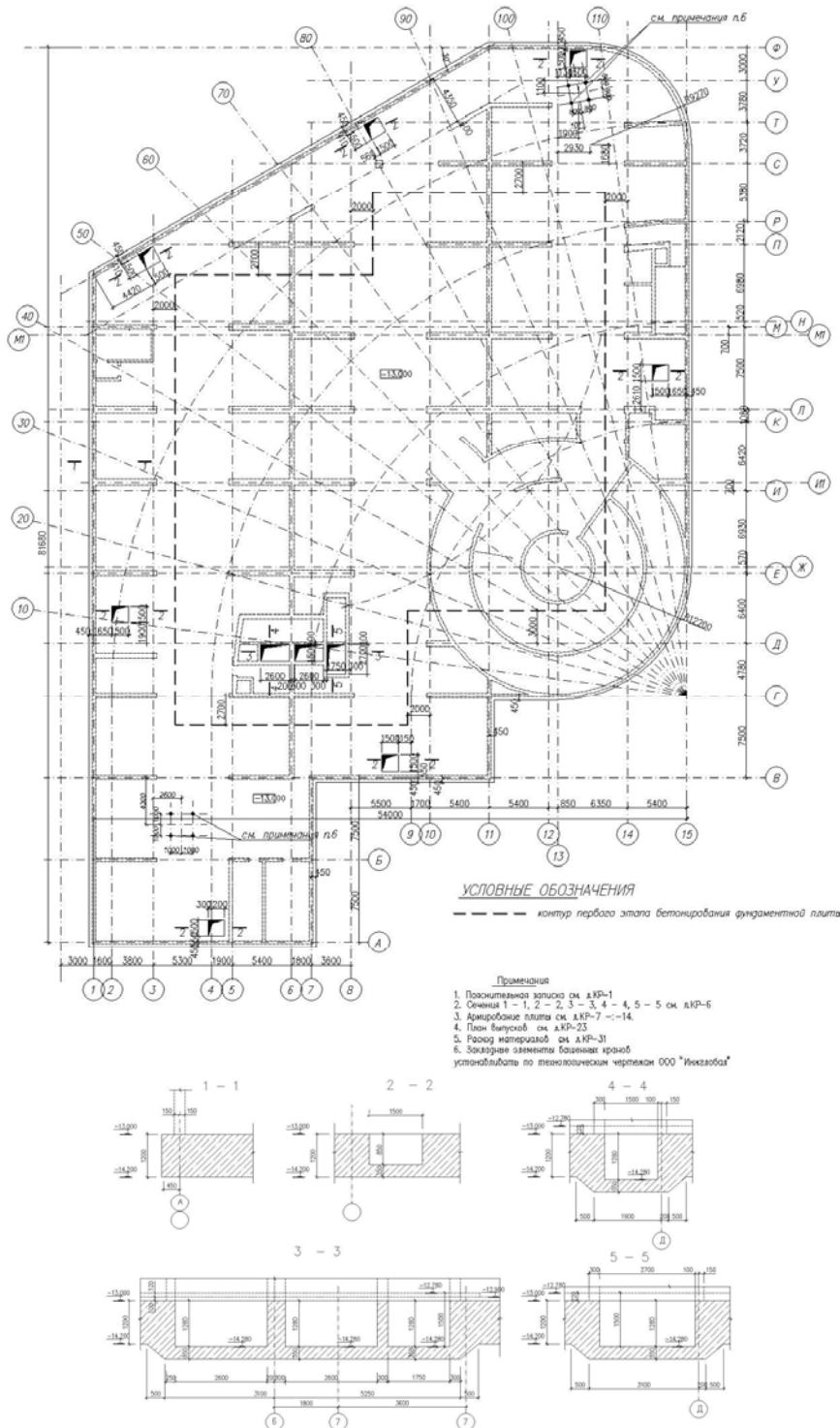


## 6. Проектирование конструктивных элементов и узлов сопряжения железобетонных конструкций.

### 6.1. Фундаментные конструкции (фундаментные плиты (плитные ростверки)).

#### Перечень основных фундаментных конструкций:

1. Опалубочный план фундаментной плиты (плитного ростверка).
2. Маркировочная схема свайного поля.
3. План арматурных каркасов.
4. Планы верхнего и нижнего армирования.
5. План арматурных выпусков.
6. Узлы и детали.
7. Конструкции свай.
8. Арматурные изделия (каркасы, отдельные стержни).

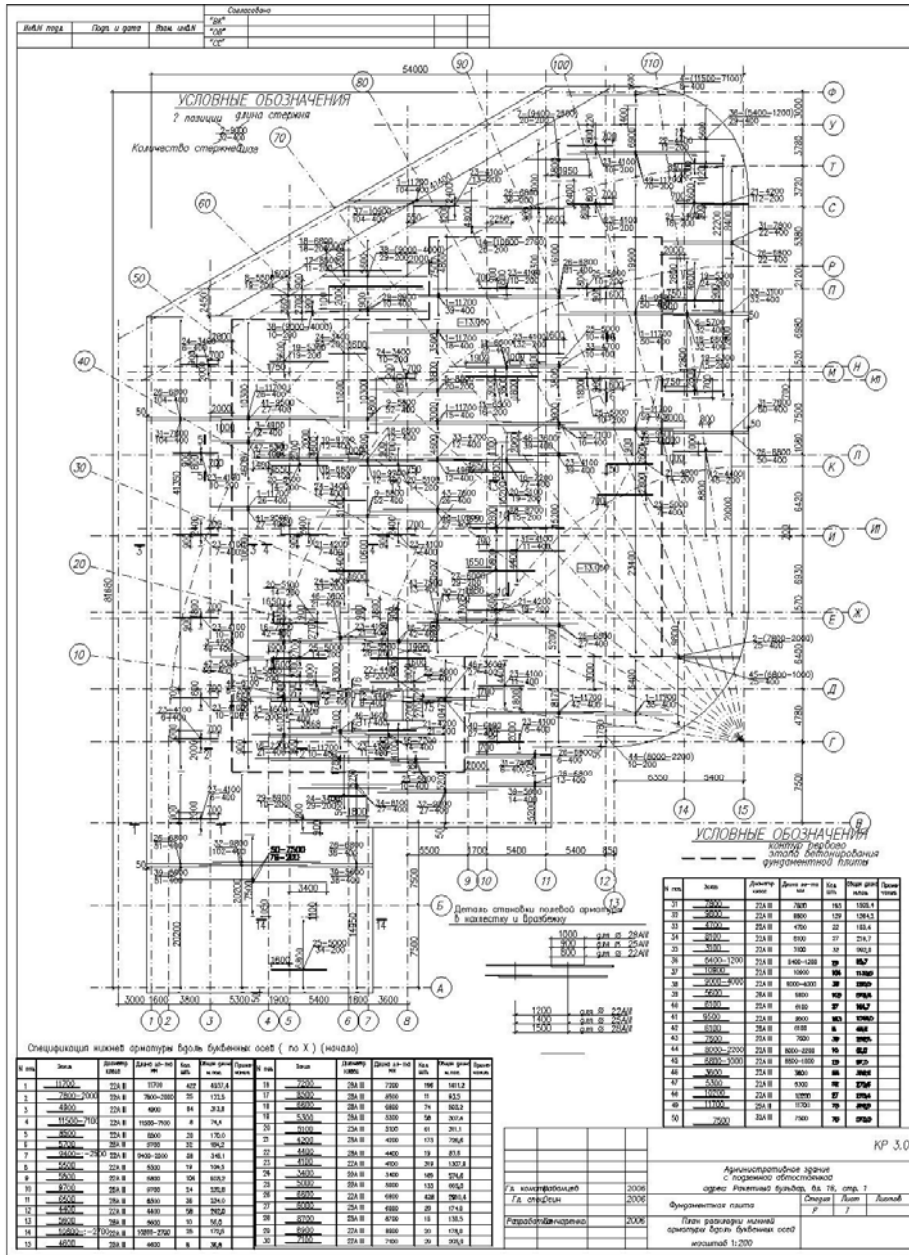


Опалубочный план фундаментной плиты

Основные сечения опалубки фундаментной плиты

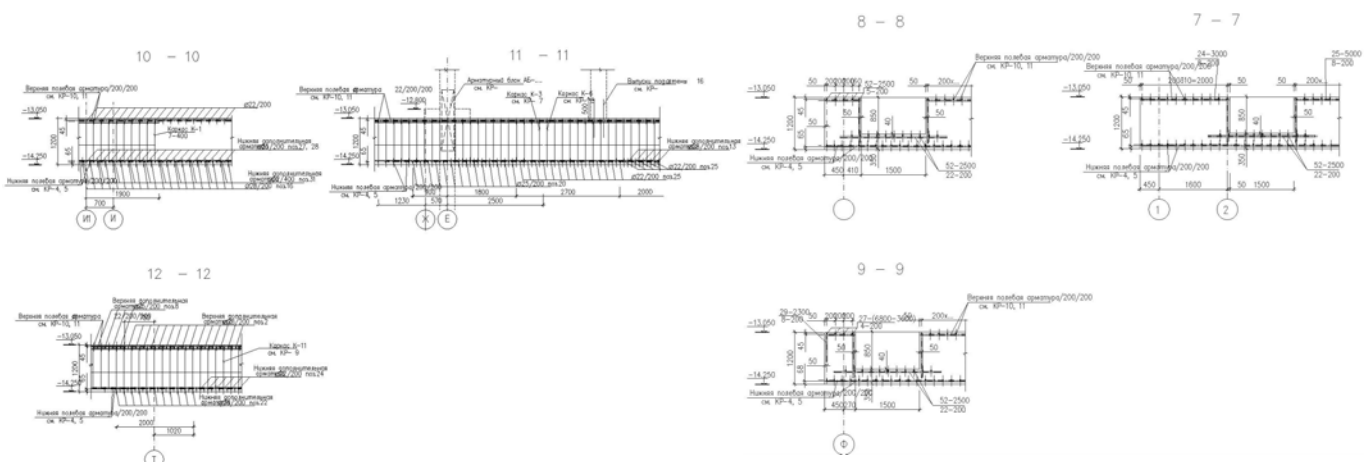
## 6. Проектирование конструктивных элементов и узлов сопряжения железобетонных конструкций.

### 6.1. Фундаментные конструкции (фундаментные плиты (плитные ростверки)).



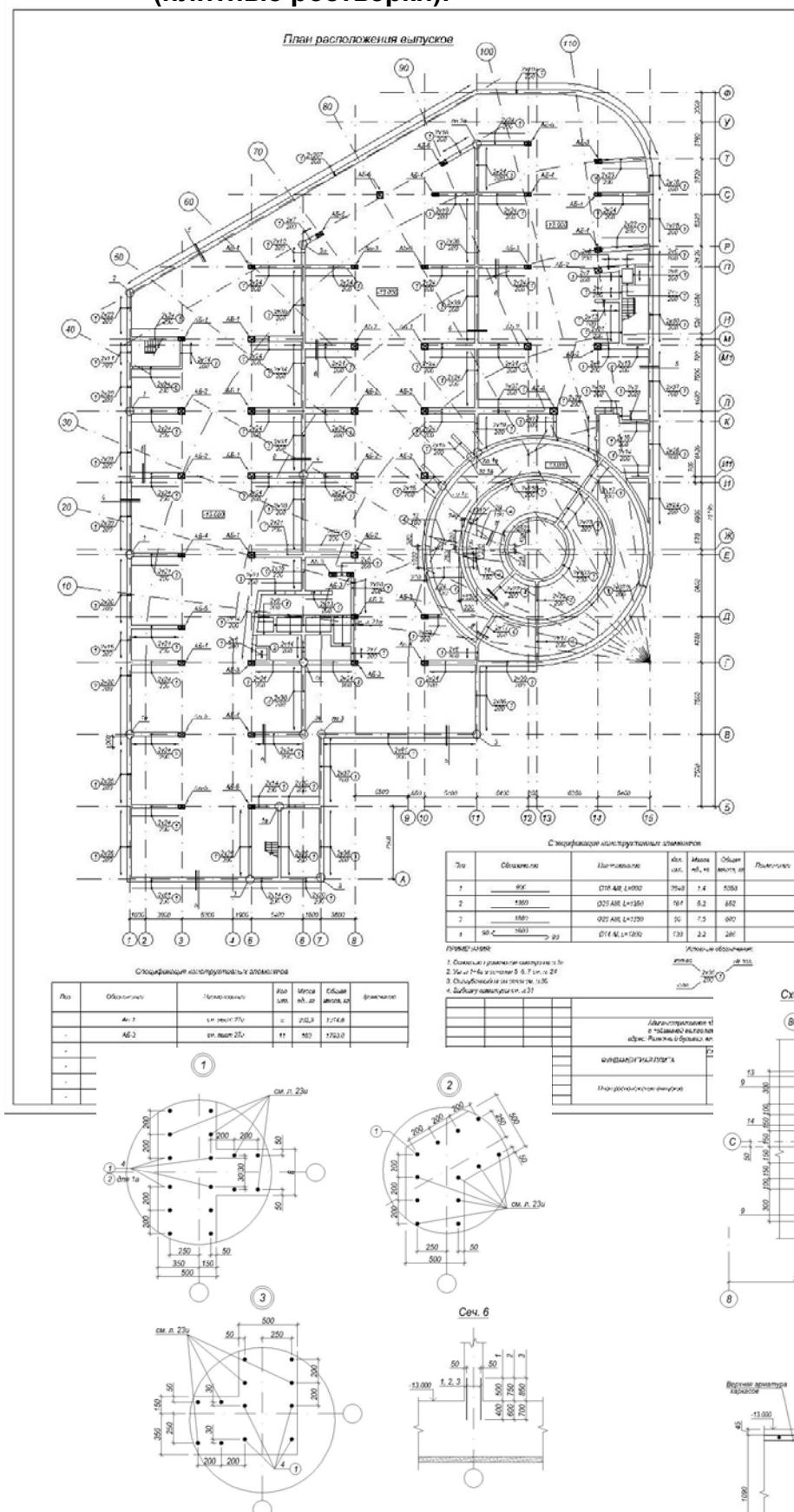
План раскладки нижней арматуры фундаментной плиты в поперечном направлении

Основные сечения армирования фундаментной плиты



## 6. Проектирование конструктивных элементов и узлов сопряжения железобетонных конструкций.

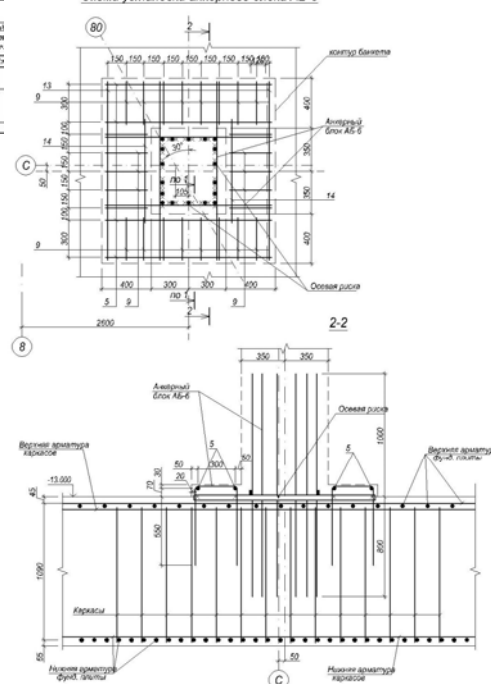
### 6.1. Фундаментные конструкции (фундаментные плиты (плитные ростверки)).



План арматурных выпусков из фундаментной плиты

Основные узлы анкерных блоков фундаментной плиты

Схема установки анкерного блока АБ-6

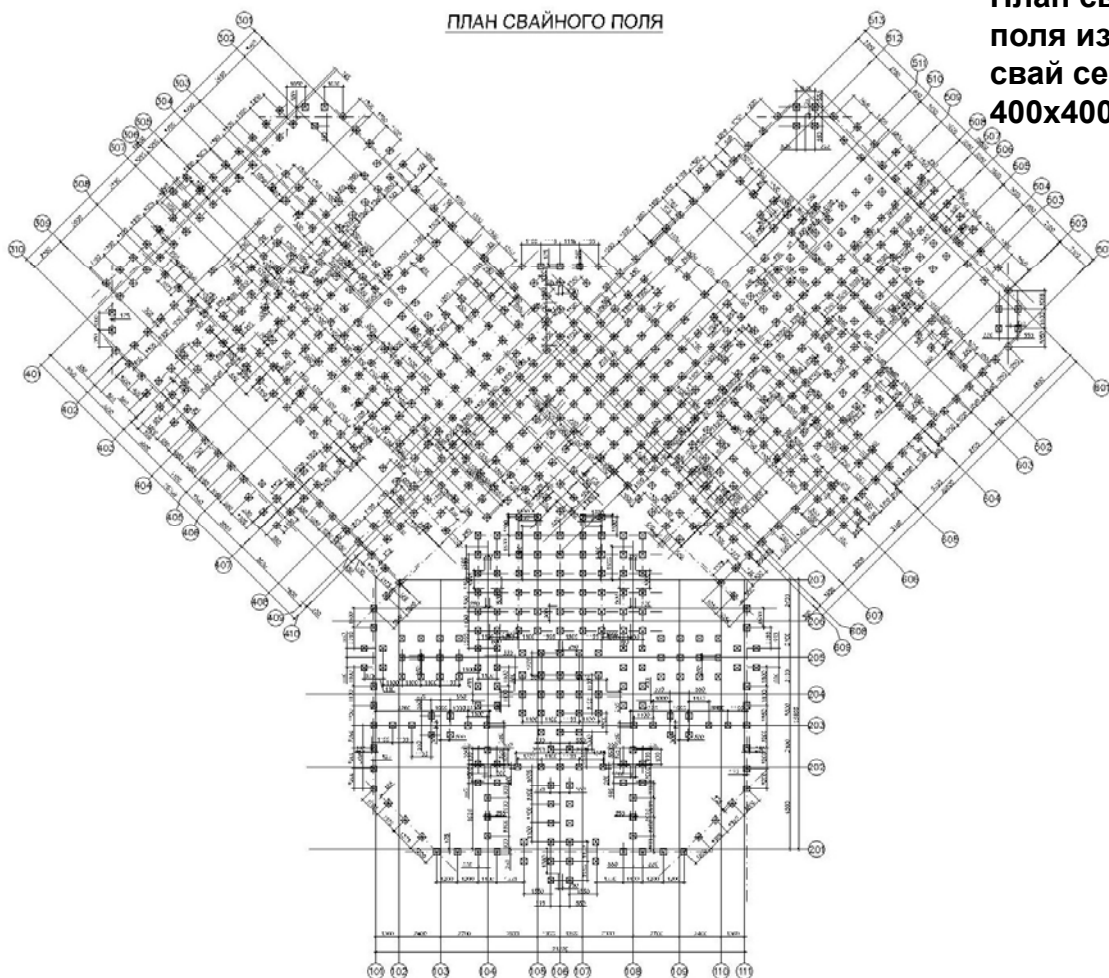


Основные узлы арматурных выпусков из фундаментной плиты

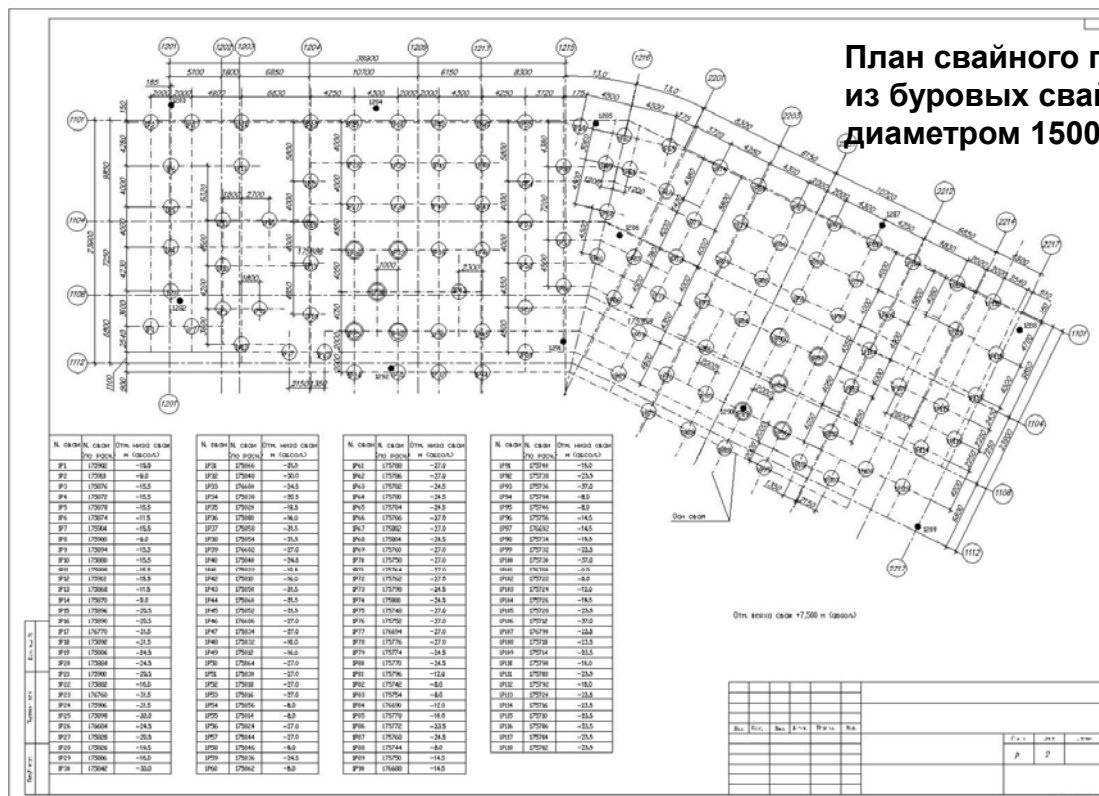
## 6. Проектирование конструктивных элементов и узлов сопряжения железобетонных конструкций.

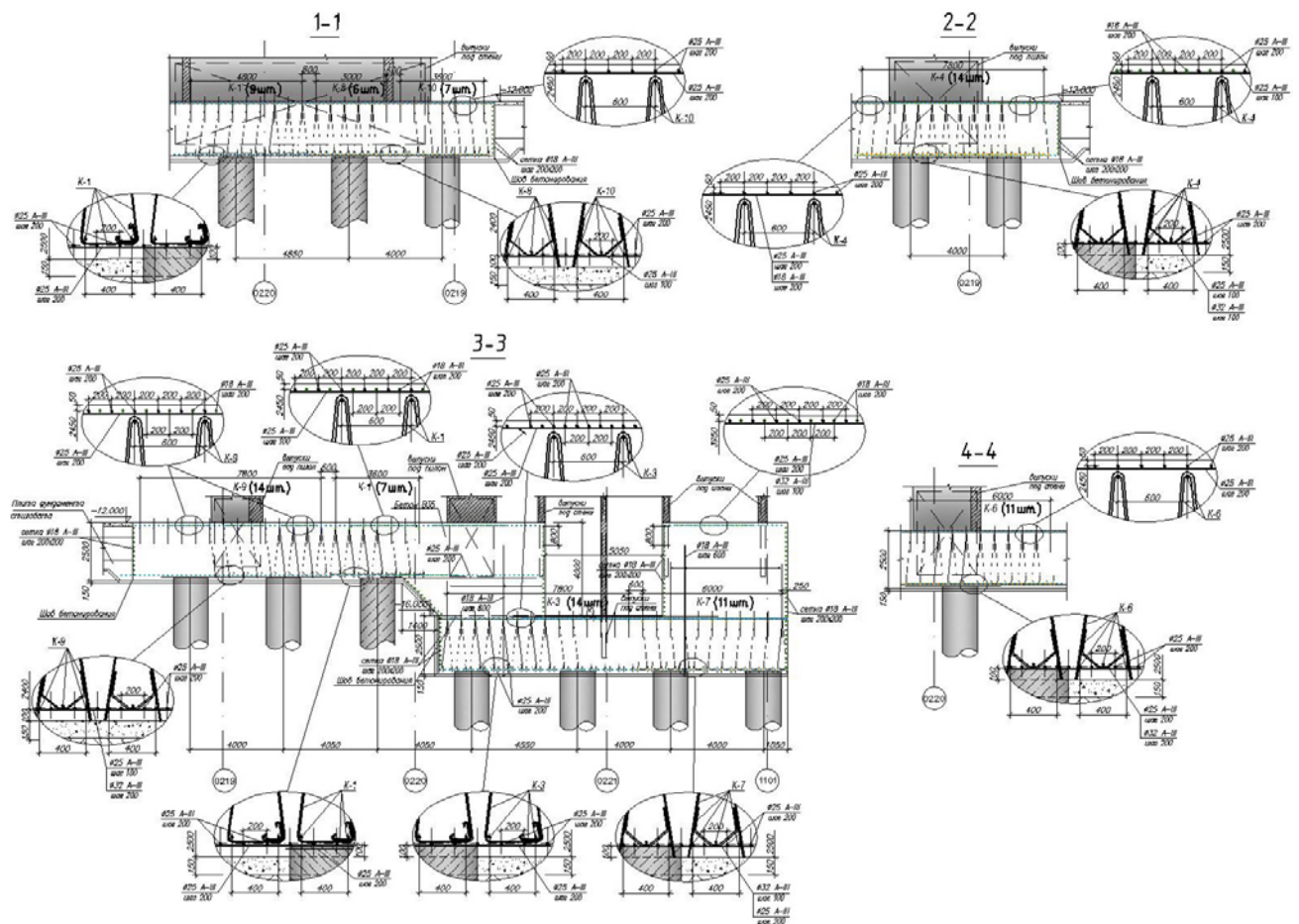
### 6.1. Фундаментные конструкции (фундаментные плиты (плитные ростверки)).

ПЛАН СВАЙНОГО ПОЛЯ



План свайного поля из забивных свай сечением 400x400 мм.





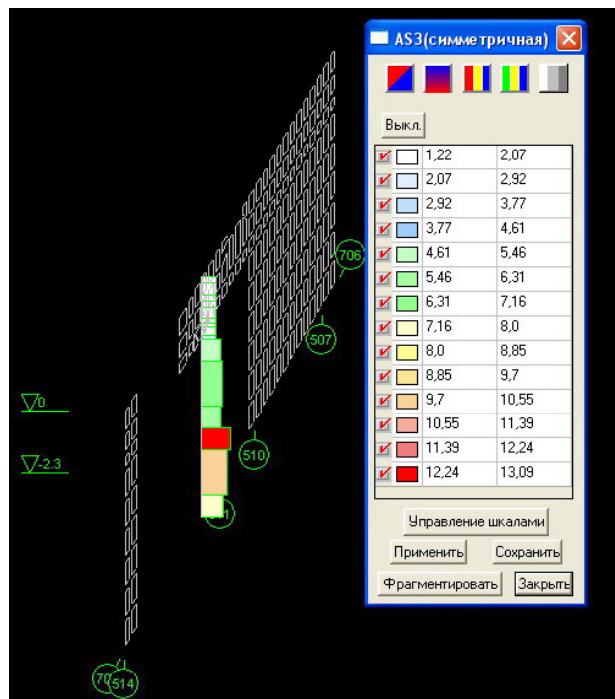
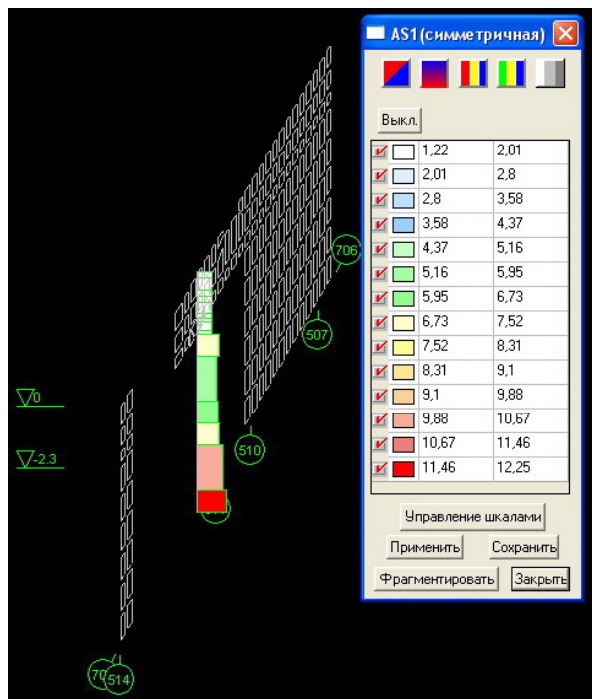


## 6. Проектирование конструктивных элементов и узлов сопряжения железобетонных конструкций.

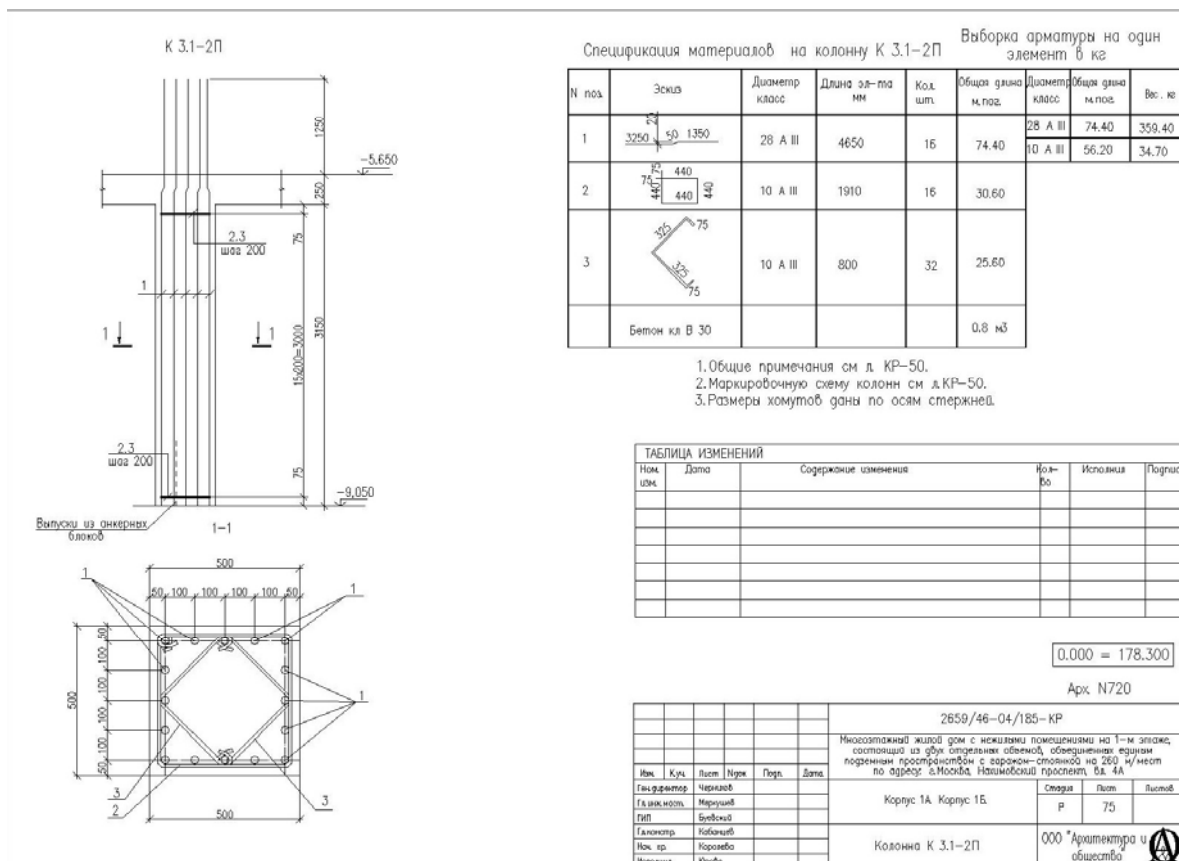
### Колонны монолитных железобетонных зданий.

Перечень основных чертежей колонн:

1. Маркировочная схема колонн/стен яруса/этажа.
2. Опалубка и армирование колонны. Узлы и детали.
3. Арматурные изделия (каркасы, отдельные стержни).



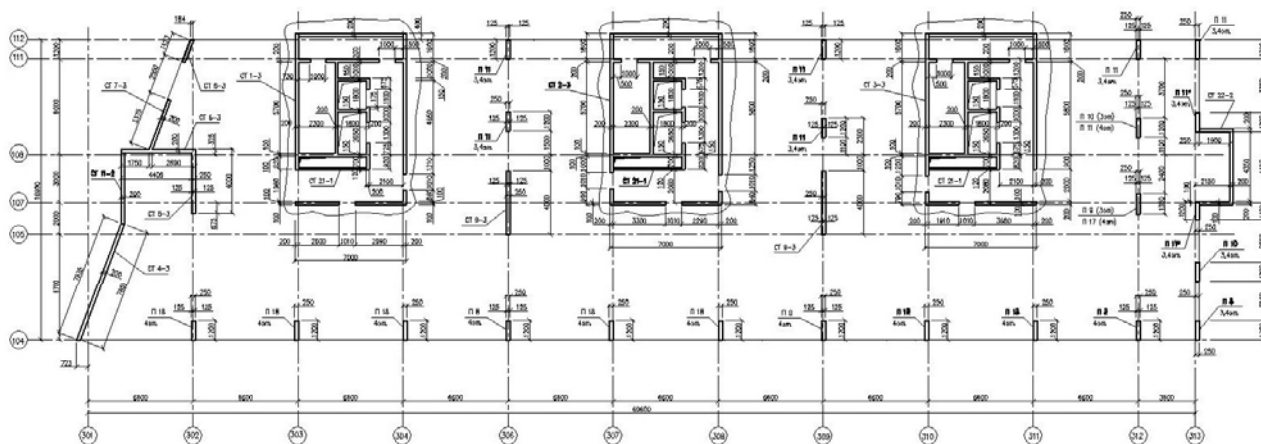
### Результаты расчета армирования колонны Опалубка и армирование колонны. Узлы и детали.



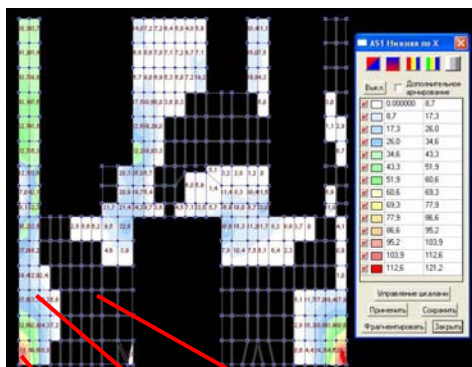
Перечень основных чертежей несущих стен:

1. Маркировочная схема стен яруса/этажа.
2. Опалубка и армирование стены. Узлы и детали.
3. Арматурные изделия (каркасы, отдельные стержни).

Схема расположения монолитных стен и пилонов 3,4 этажей Корпус 1 А



Расчетные значения вертикального армирования.



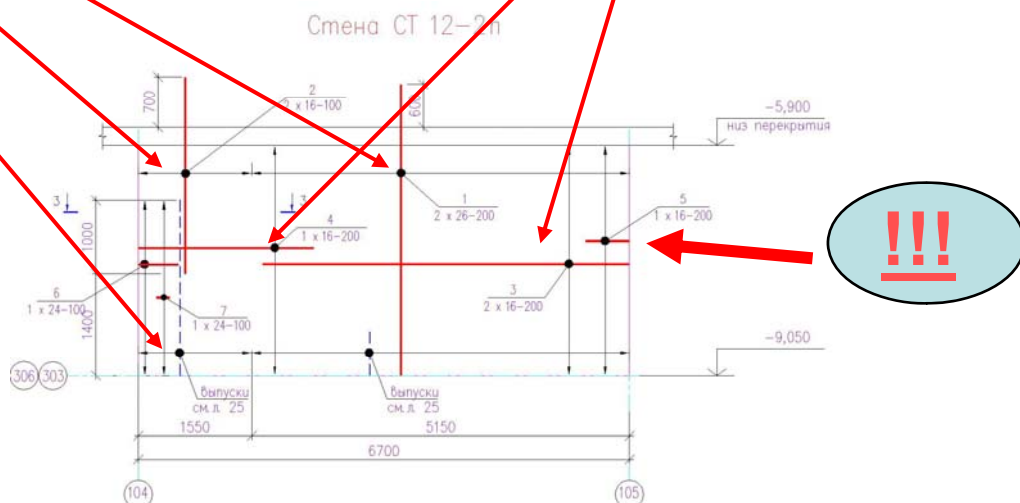
**AS1 Матрица по X**

☒ Выкл. ☐ Дополнительное выключение

Матрица

|          |       |
|----------|-------|
| 0,000000 | 8,7   |
| 0,7      | 17,3  |
| 17,3     | 26,0  |
| 26,0     | 34,6  |
| 34,6     | 43,3  |
| 43,3     | 51,9  |
| 51,9     | 60,6  |
| 60,6     | 69,3  |
| 69,3     | 77,9  |
| 77,9     | 86,6  |
| 86,6     | 95,2  |
| 95,2     | 103,9 |
| 103,9    | 112,6 |
| 112,6    | 121,2 |

Управление каналом

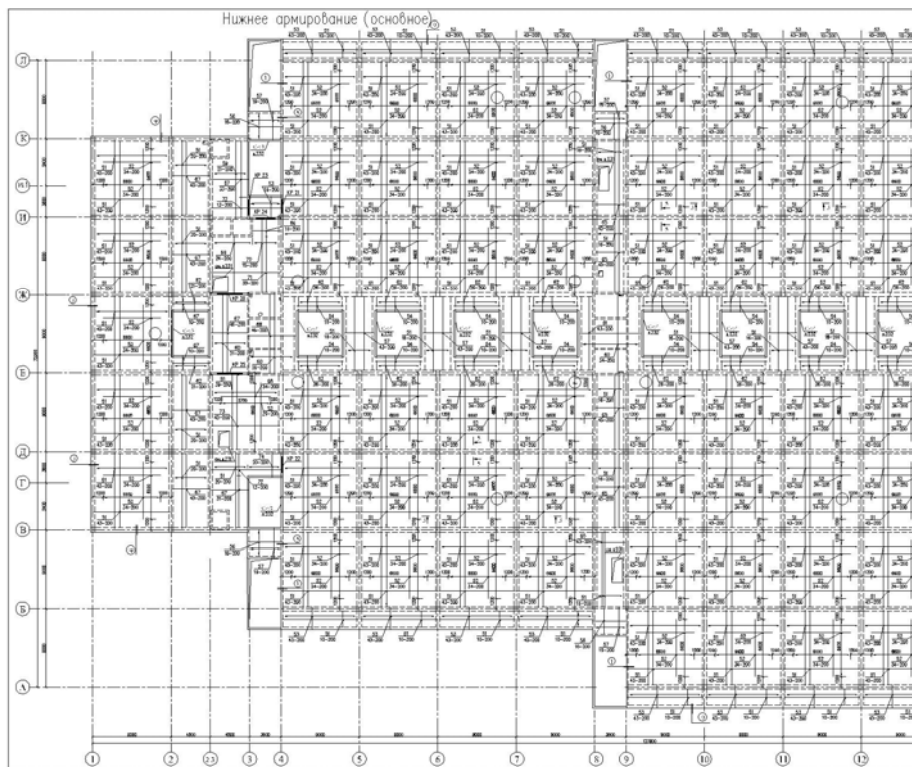


## Опалубка и армирование стены.

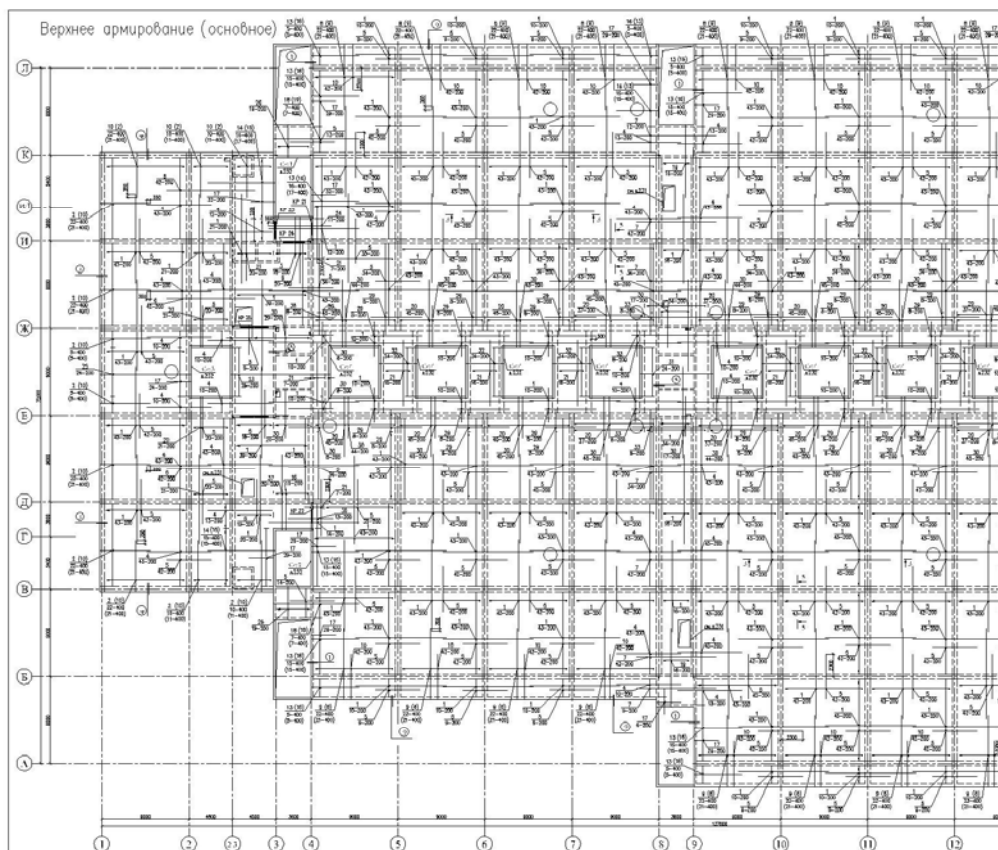


## **6. Проектирование конструктивных элементов и узлов сопряжения железобетонных конструкций.**

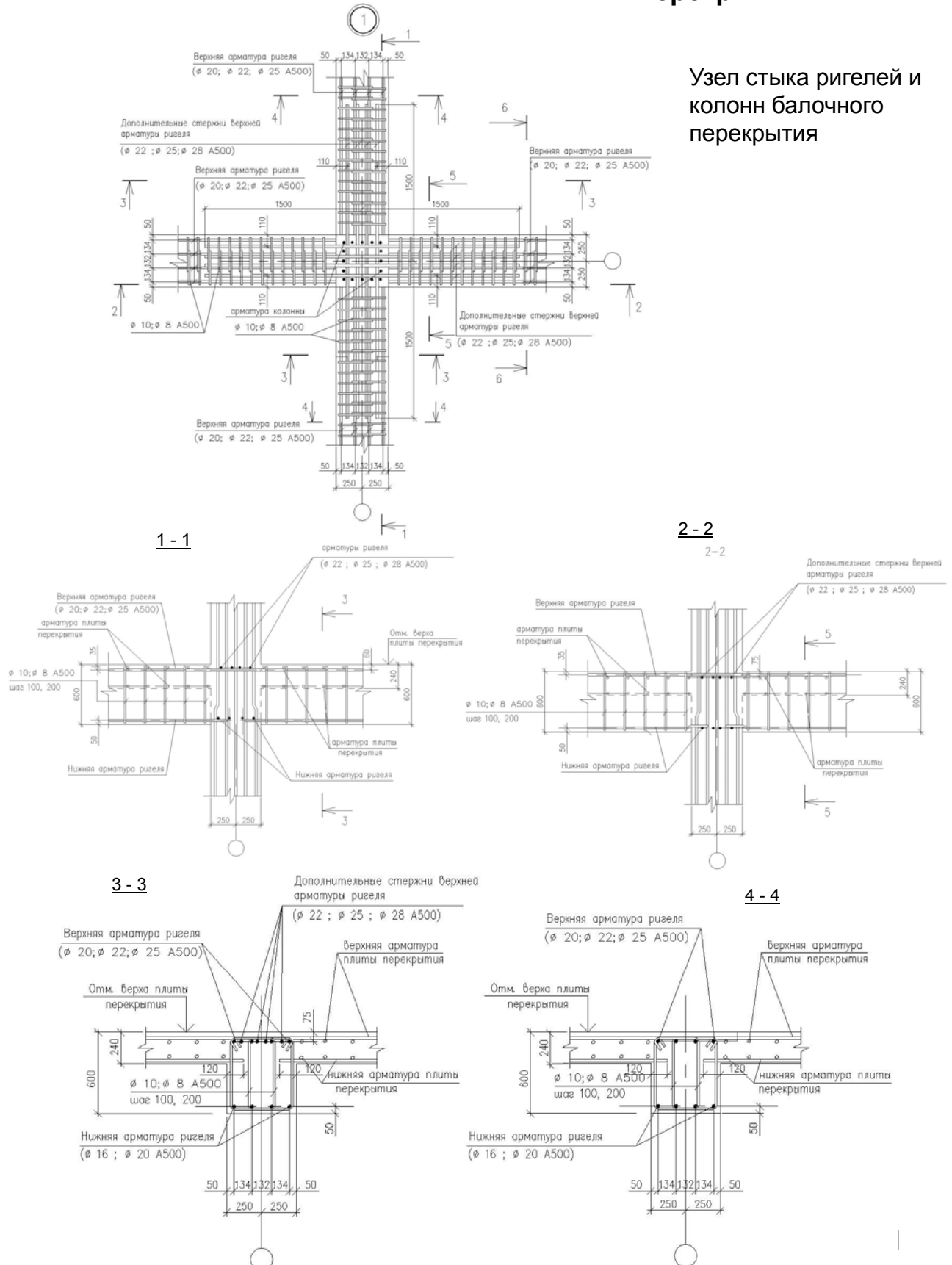
### **Монолитные железобетонные балочные перекрытия.**



План нижнего армирования (фрагмент).



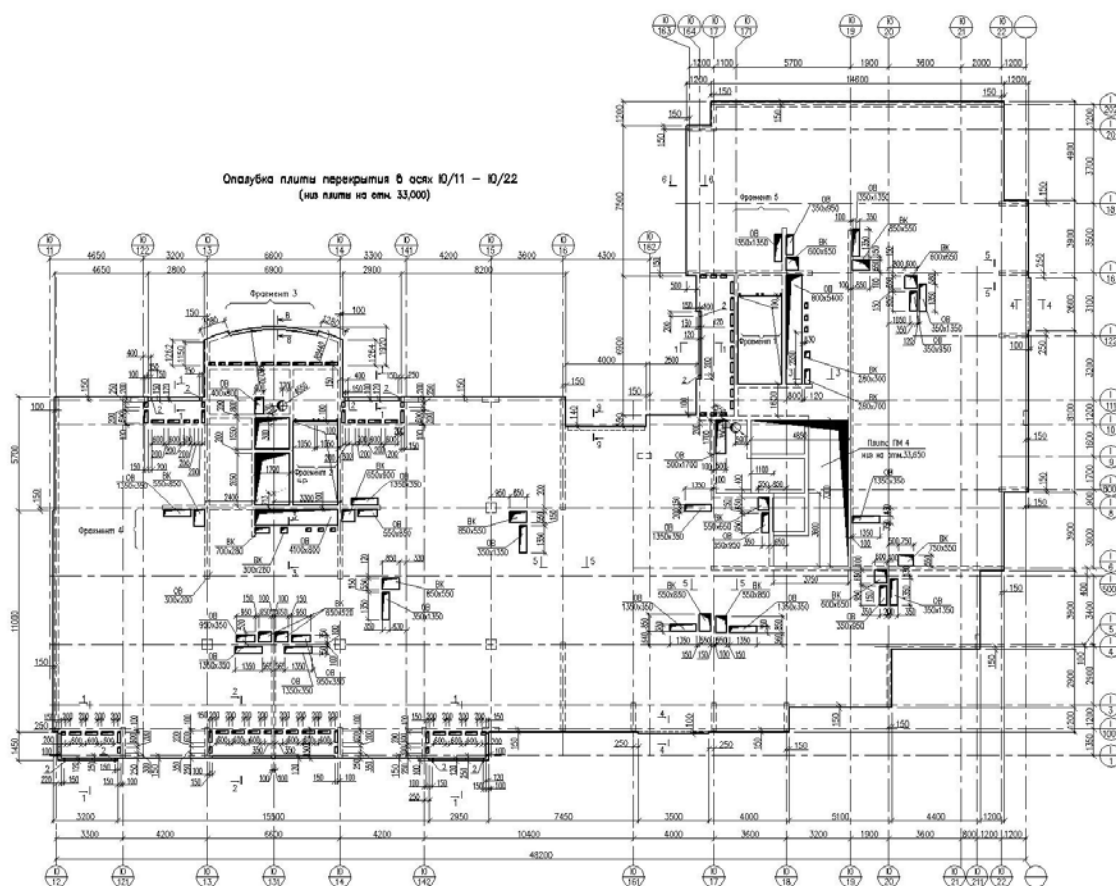
План верхнего армирования (фрагмент).



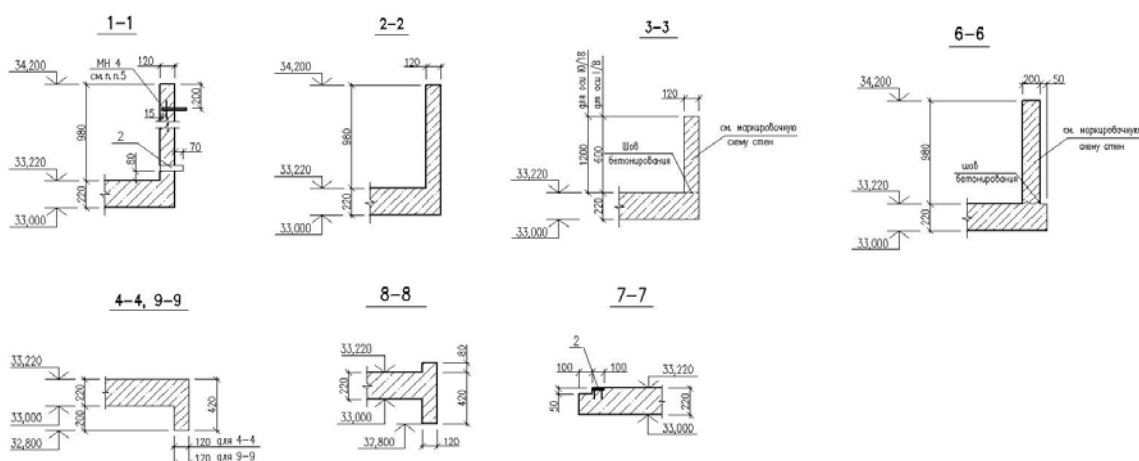


## 6. Проектирование конструктивных элементов и узлов сопряжения железобетонных конструкций.

### Монолитные железобетонные безригельные перекрытия.



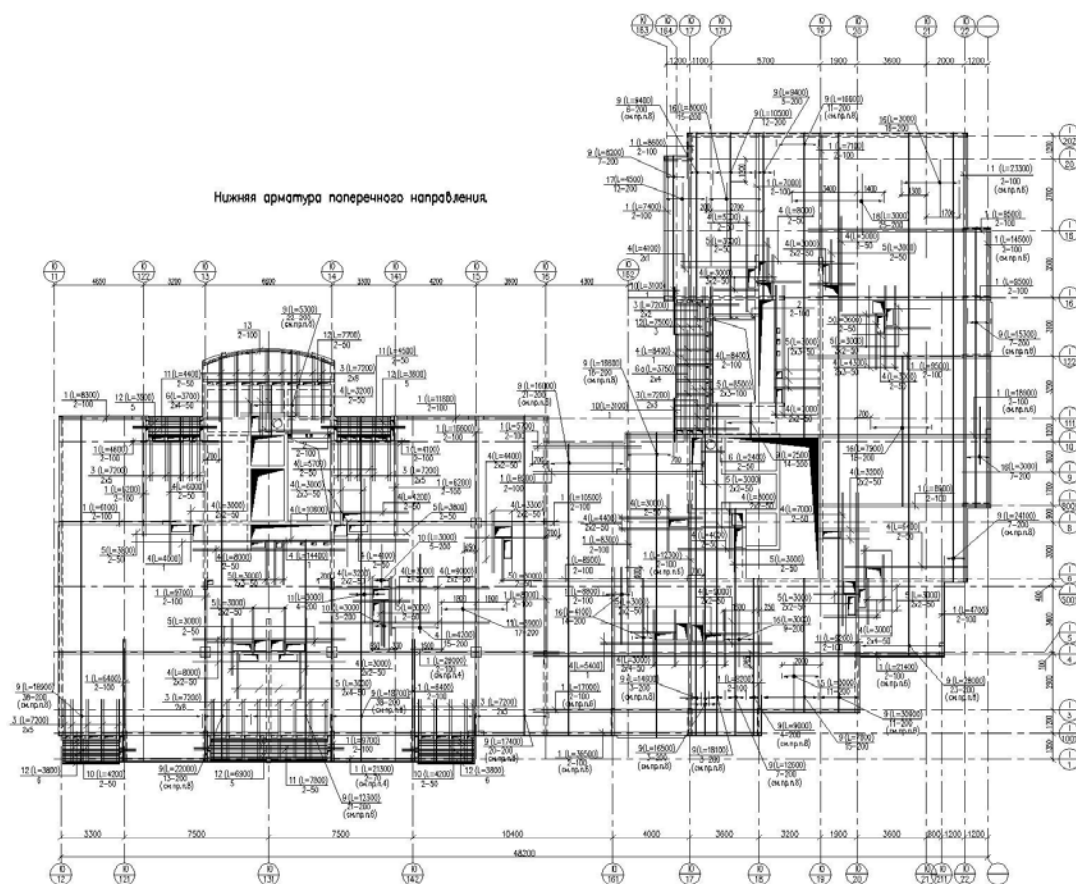
Опалубочный план безригельного перекрытия типового этажа жилого дома.



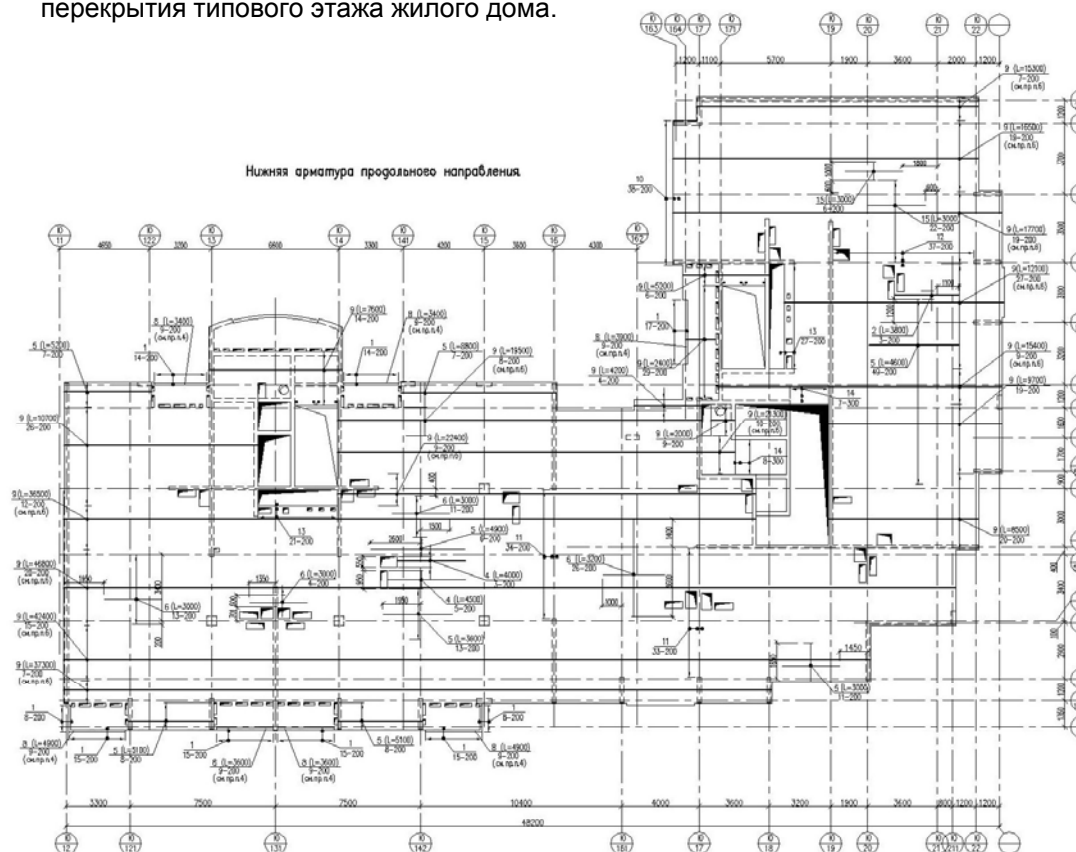
Основные опалубочные узлы безригельного перекрытия типового этажа жилого дома.

## 6. Проектирование конструктивных элементов и узлов сопряжения железобетонных конструкций.

### Монолитные железобетонные безригельные перекрытия.



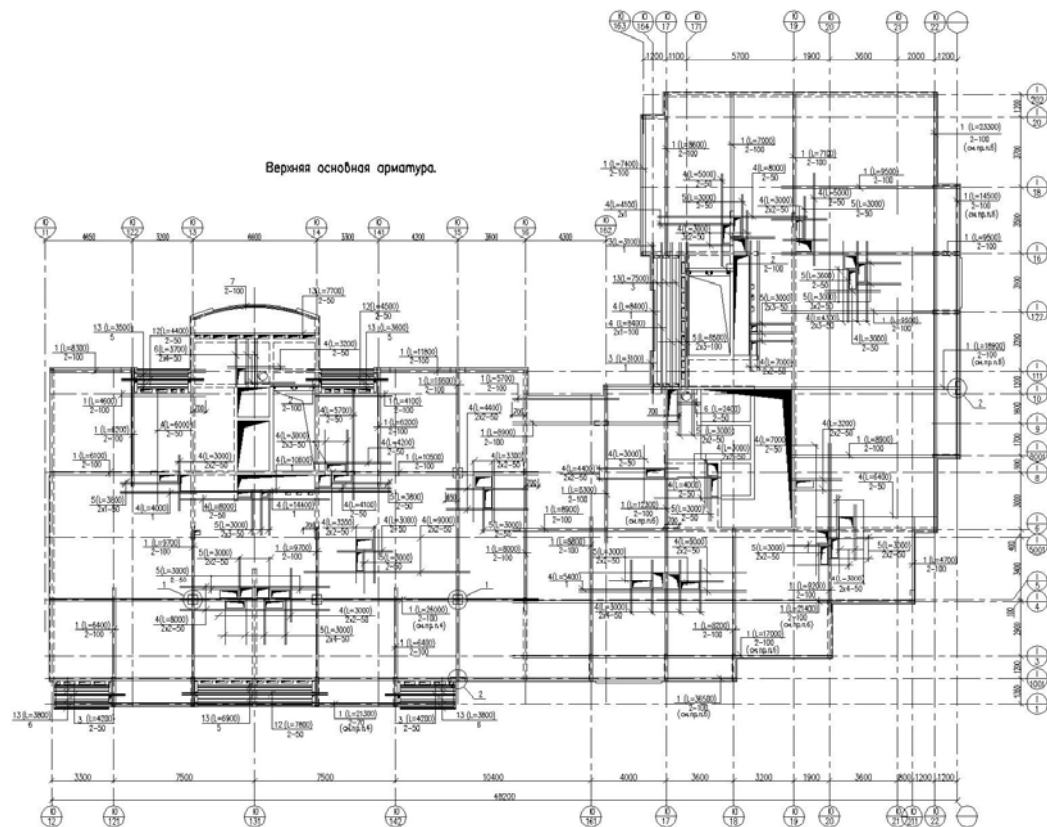
План нижнего армирования (в поперечном направлении) безригельного перекрытия типового этажа жилого дома.



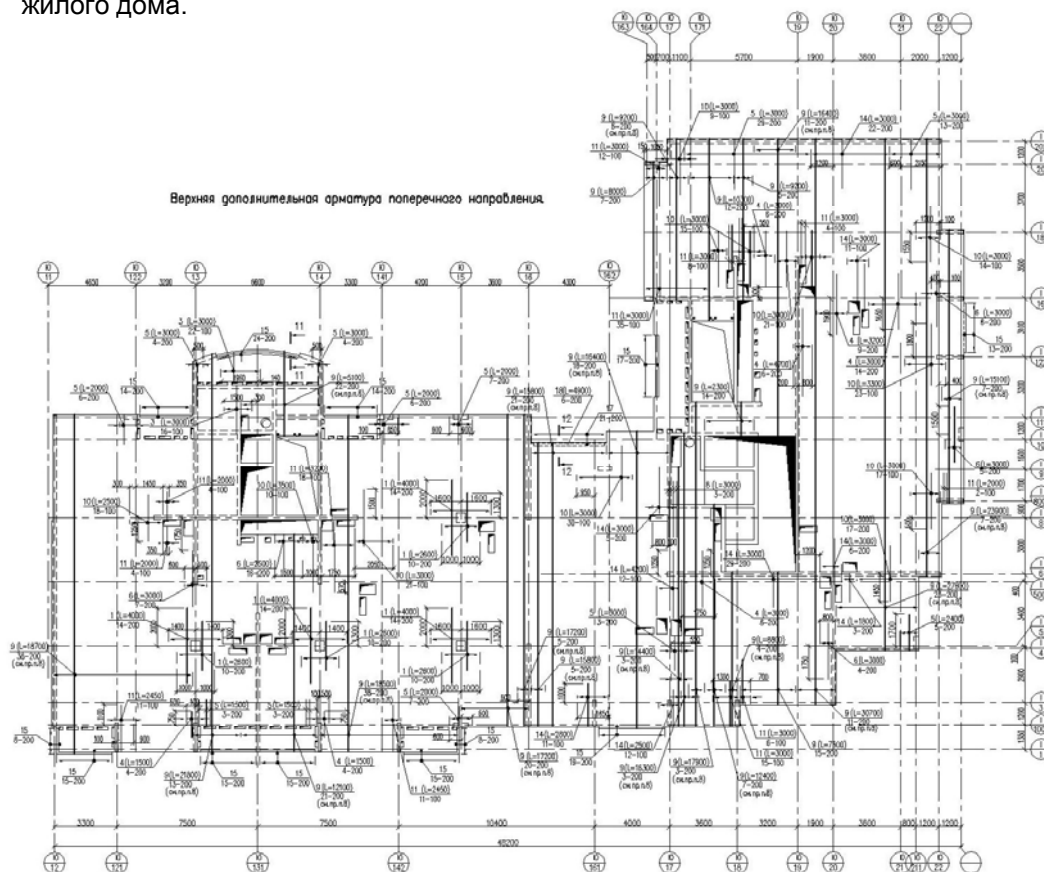
План нижнего армирования (в продольном направлении) безригельного перекрытия типового этажа жилого дома.

## 6. Проектирование конструктивных элементов и узлов сопряжения железобетонных конструкций.

### Монолитные железобетонные безригельные перекрытия.



План верхнего (основного) армирования безригельного перекрытия типового этажа жилого дома.

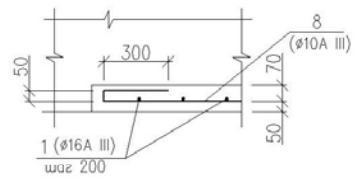
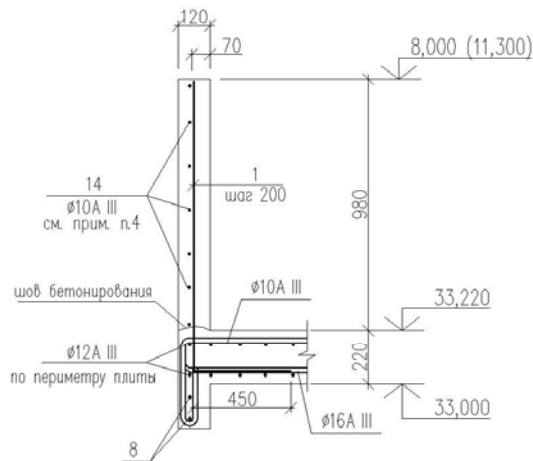
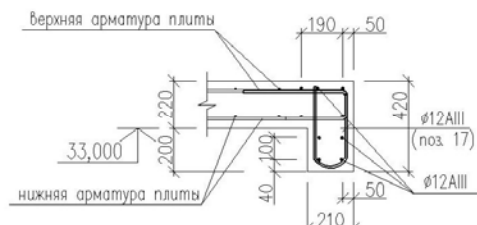


План верхнего дополнительного армирования (в поперечном направлении) безригельного перекрытия типового этажа жилого дома.

Нижняя арматура продольного направления

Technical drawing showing a cross-section of a reinforced concrete slab edge detail. The drawing includes the following dimensions and labels:

- Top reinforcement bar diameter:  $\phi 12 A_{III}$  (pos. 15)
- Bottom reinforcement bar diameter:  $\phi 12 A_{III}$
- Overall width: 33,000
- Top reinforcement bar offset: 100
- Top reinforcement bar spacing: 50
- Top reinforcement bar height: 80
- Top reinforcement bar length: 420
- Top reinforcement bar diameter:  $\phi 12 A_{III}$
- Top reinforcement bar offset: 200
- Top reinforcement bar spacing: 40
- Top reinforcement bar height: 50
- Top reinforcement bar length: 120
- Labels: "верхняя арматура плиты" (top slab reinforcement) and "нижняя арматура плиты" (bottom slab reinforcement)



55

