

# **Опыт и перспективы развития конструктивных систем уникальных зданий, в том числе из высокопрочного железобетона и пескобетона**

В настоящее время в России ведется интенсивное строительство уникальных зданий высотой и пролетом более 100м, используются принципиально новые конструктивные решения и технологии, которые не прошли проверку в практике строительства и эксплуатации, поэтому совершенствование конструкций на основе применения пескобетона, высокопрочного железобетона и сталебетона является актуальной задачей.

По проектам АО «Казанский Гипронефтеавиапром» построены уникальные здания в г. Иннополисе:

- Университет с консольными этажами и больше пролетными монолитными железобетонными перекрытиями;
- Здание «Технопарка» с применением сталежелезобетона в подвесных этажах;
- Насосная станция первого подъема с применением пескобетона и секущих буронабивных свай.

Построены и запроектированы большепролетные корпуса на объектах авиационной инфраструктуры :

- Ангар в аэропорту Бегишево, пролетом 48,0+48,0м с элементами, исключаящими прогрессирующее обрушение;
- Цех окончательной сборки, пролётами 96,0+24,0+60,0м с применением стальных арок

Ведутся научные работы по совершенствованию расчетов по эксплуатационной пригодности горизонтальных стыков железобетонных элементов, пустотных монолитных железобетонных плит покрытия без предварительного напряжения и с предварительным напряжением стальной и углепластиковой арматуры. Углепластиковые элементы так же используются при разработке проектов усиления конструкций.

Широкое применение современных материалов и конструкций сдерживает отсутствие нормативной базы.

Сотрудничество АО «Казанский Гипронефтеавиапром» с КГАСУ позволит исключить этот недостаток и обеспечить научно-техническое сопровождение при проектировании, изготовлении и монтаже конструкций уникальных зданий, а так же их технический мониторинг при возведении и эксплуатации.

## Опыт и перспективы развития конструктивных систем уникальных зданий, в том числе из высокопрочного железобетона и пескобетона



Вид на консольную часть здания университета

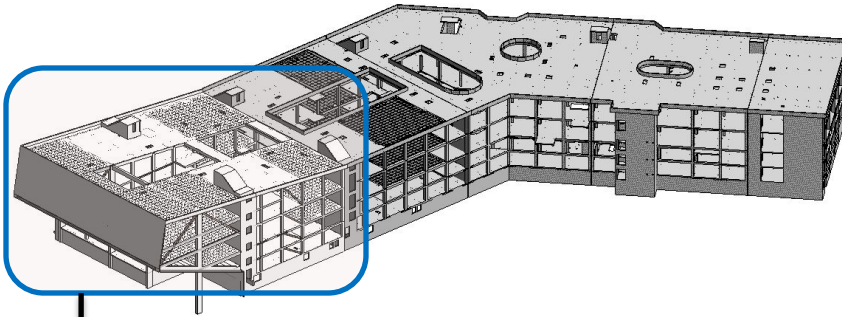
# Вид на консольную часть здания университета во время строительства



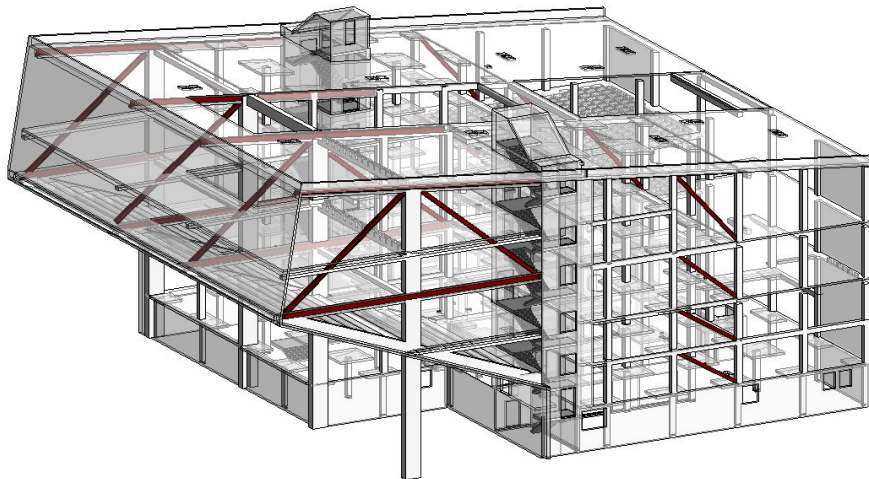


# Схема несущего каркаса здания «Университета» (Revit-3D)

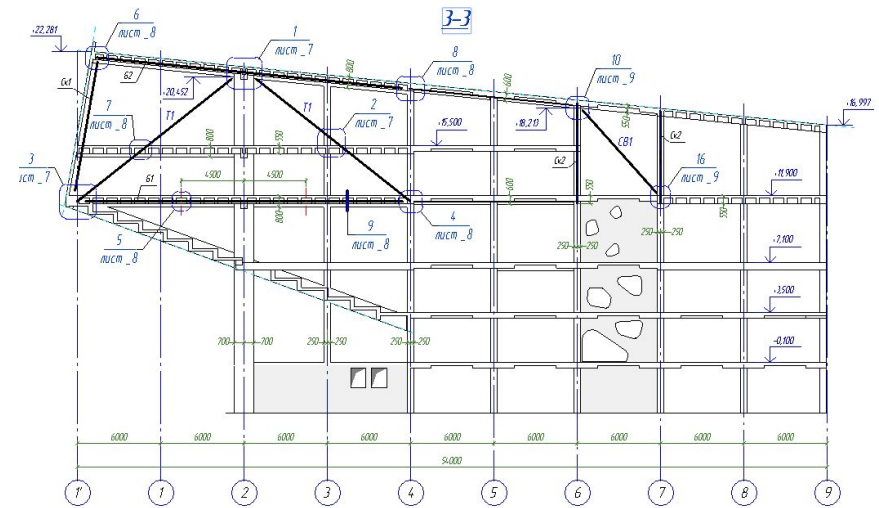
Объемная схема всего каркаса



Объемная схема консольной секции



Продольный разрез  
проектируемой консольной секции



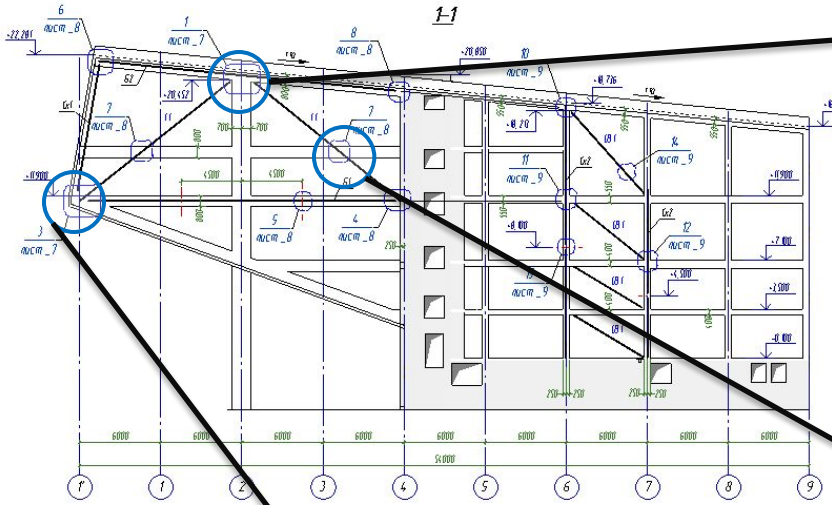
Порядок работ по возведению

1. Возвести ж/б. каркас до перекрытия 4-го этажа (включительно).
2. Возвести колонны по оси 2
3. Установить и предварительно натянуть стальные тяги
4. Возвести ж/б. каркас выше перекрытия 4-го этажа

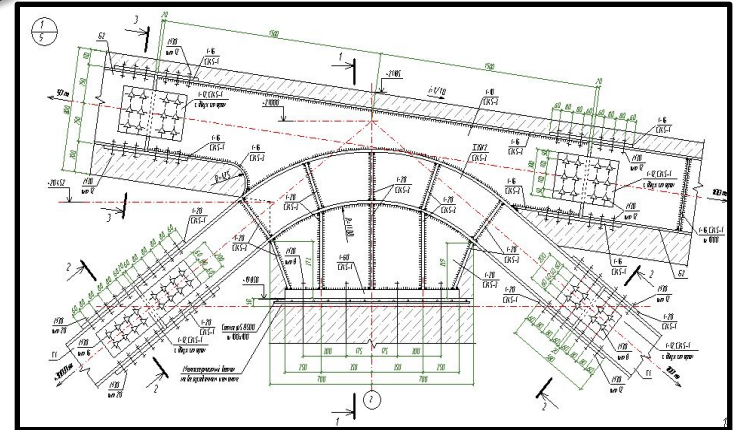


# Узлы несущей системы подвесных перекрытий в каркасе консольной секции здания «Университета»

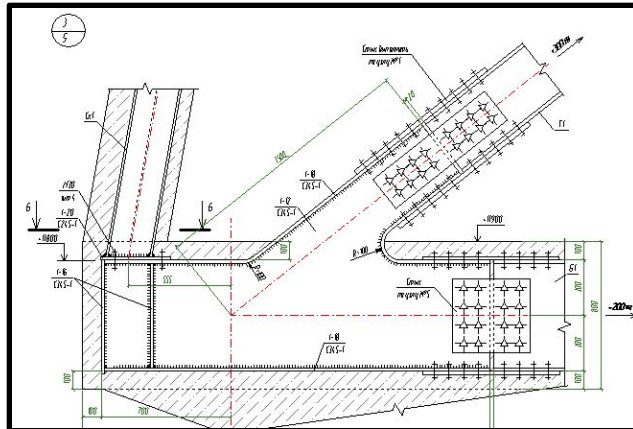
## Поперечный разрез консольной секции



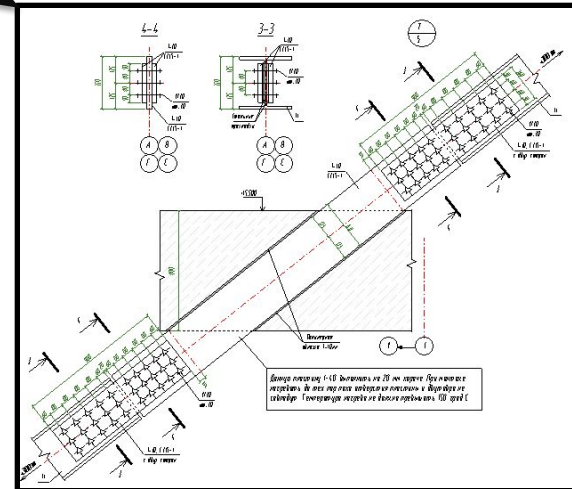
## 1. Узел опирания тяг на колонны



## 3. Узел соединения тяг с ж.б. перекрытием

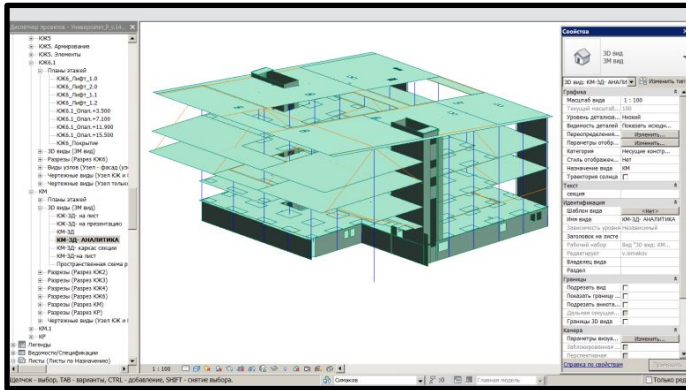


## 2. Узел стыковки преднапряженных тяг



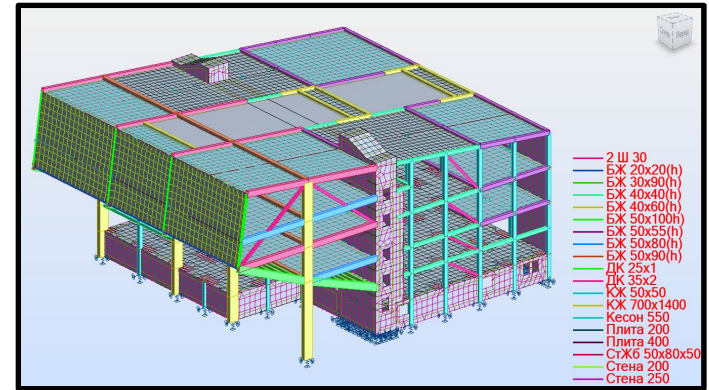
# Расчетная модель каркаса консольной секции здания «Университета». Программа этапности нагружений.

## Аналитическая модель в Revit

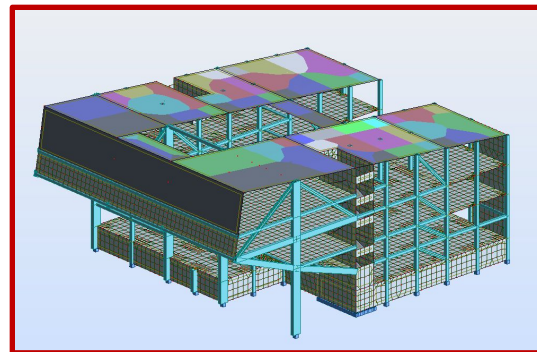


Экспорт модели  
в Robot

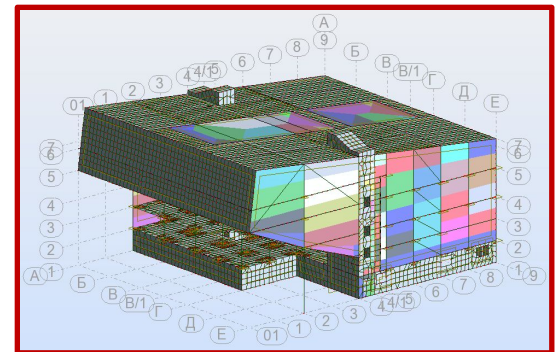
## Конечно-элементная модель в Robot



## Расчет на стадии монтажа



## Расчет на стадии эксплуатации

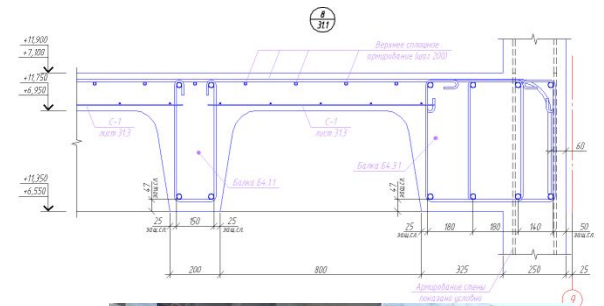
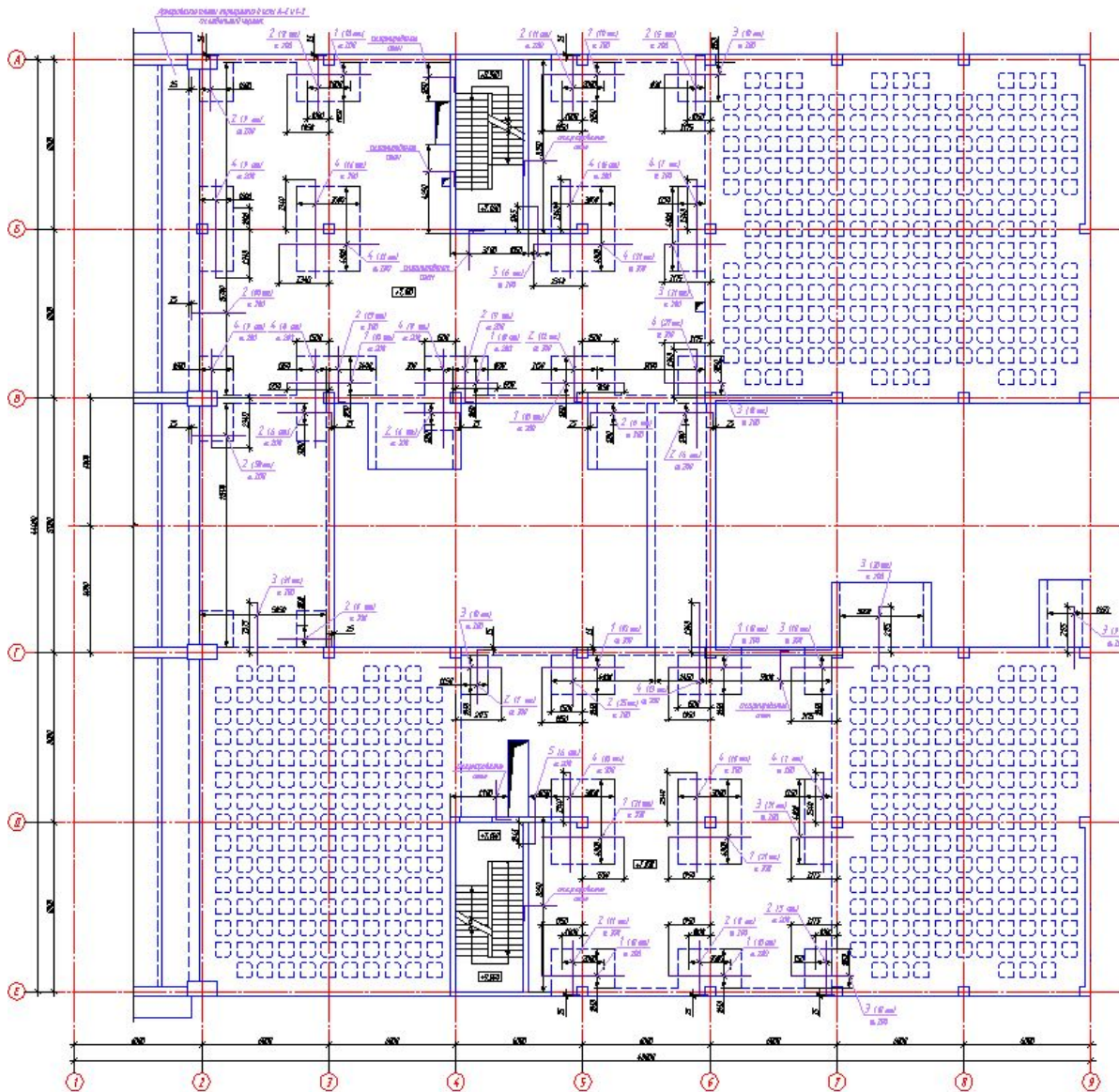


Расчет с учетом всех возможных нагрузжений, совместной работы основания, физической и геометрической нелинейности



# Иннополис. Университет.

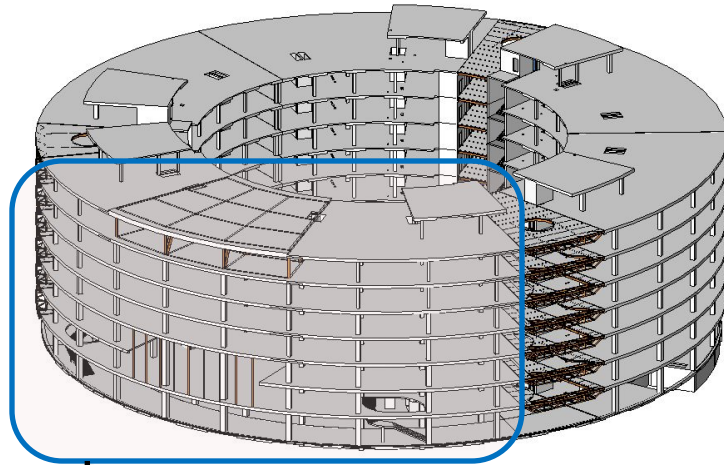
Планы парирования на оси +7,00  
Систа разделения беранга возмозительного одразделения



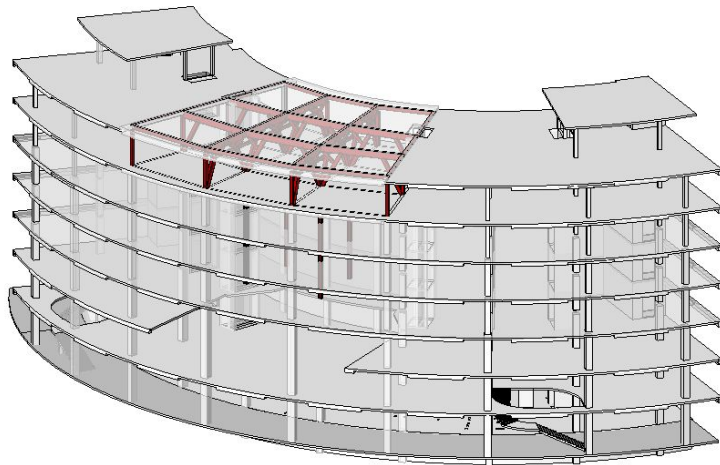


# Схема несущего каркаса здания «IT-парка» (Revit-3D)

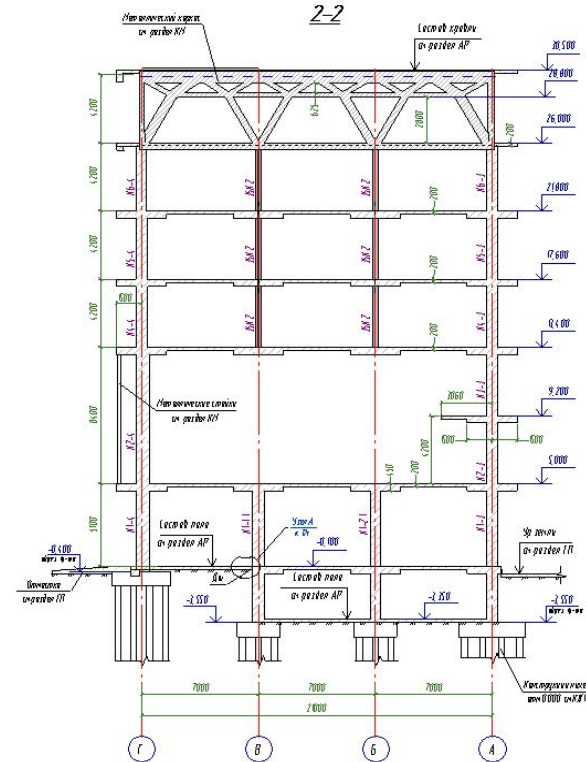
Объемная схема всего здания



Объемная схема «Блока-С»



Поперечный разрез проектируемого «Блока-С»



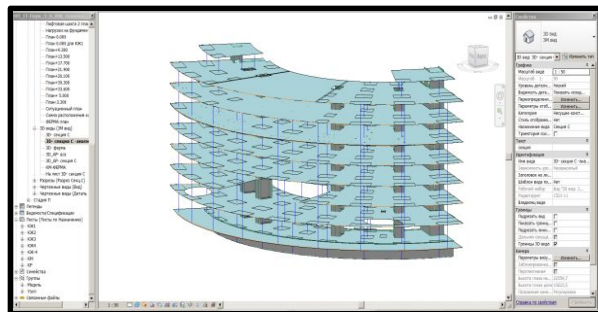
Порядок работ по возведению

1. Возвести монолитный каркас за исключением участка перекрытий 3-7 этажей в осях В-Б.
2. Смонтировать пространственную ферму и стальные тяги.
3. Залить бетонные перекрытия в уровне поясов фермы.
4. Выполнить подвесные перекрытия над 3-5 этажами, оставив технологические зазоры.
5. Залить бетонные технологические зазоры.

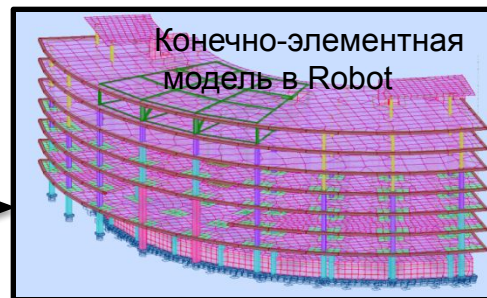
# Расчетная модель каркаса «Блока-С» в здании «IT-парка»

## Программа этапности нагрузений

Аналитическая модель в Revit



Экспорт модели  
в Robot



расчет

расчет

пространственной фермы

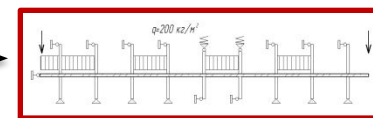
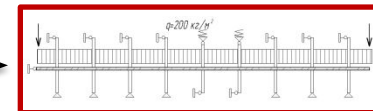
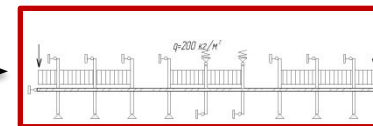
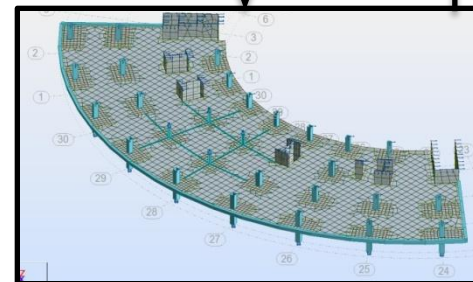
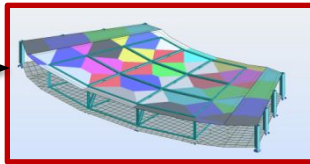
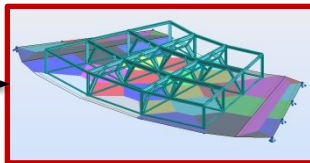
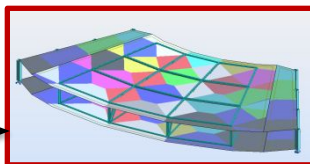
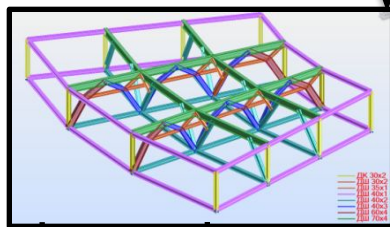
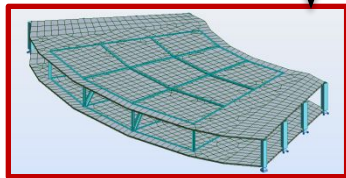
перекрытий

расчет на  
период  
монтажа

Расчет на  
период  
эксплуатации

расчет на период  
монтажа

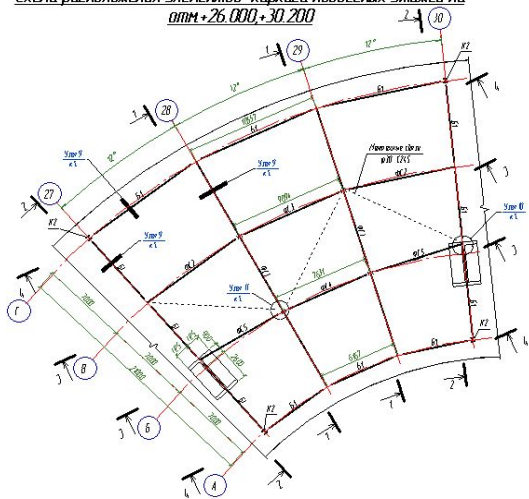
Расчет на период  
эксплуатации



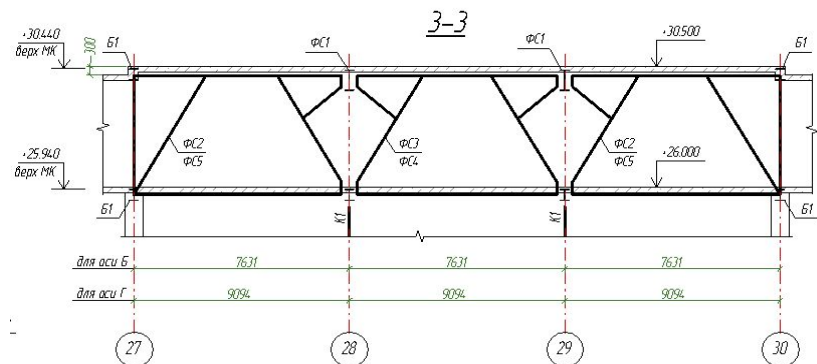
# Схема расположения элементов несущей системы подвесных этажей «Блока-С» в здании «IT-парка»

## 1. Схема расположения пространственной фермы

Схема расположения элементов каркаса подвесных этажей на  
отм.+26.000, +30.200

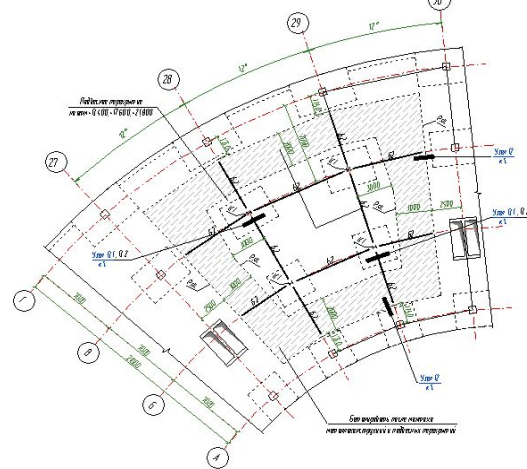


## 2. Продольный разрез по второстепенной ферме

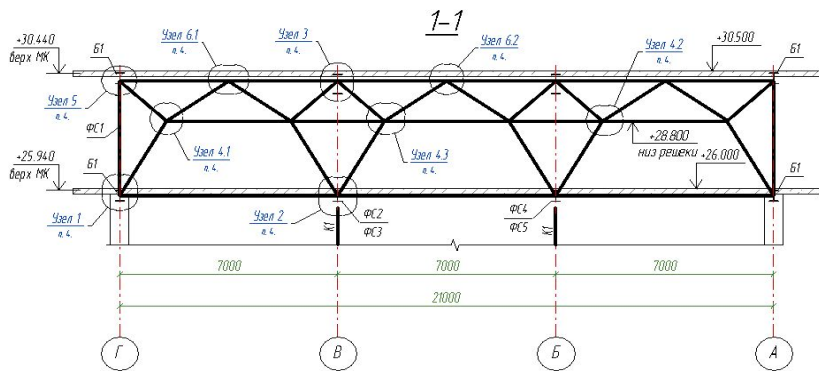


## 4. Схема устройства подвесных перекрытий в плане

Схема расположения подвесных перекрытий на  
отм.+13.400, +17.600, +21.800



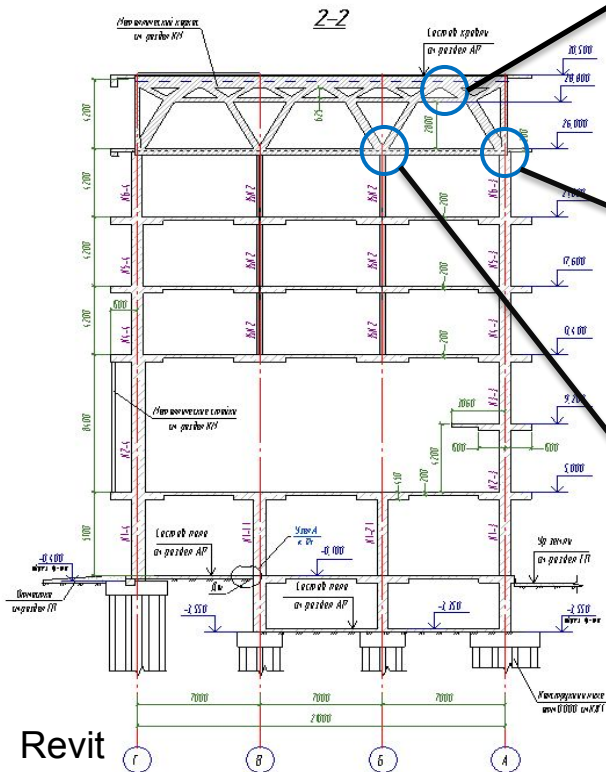
## 3. Поперечный разрез по главной ферме



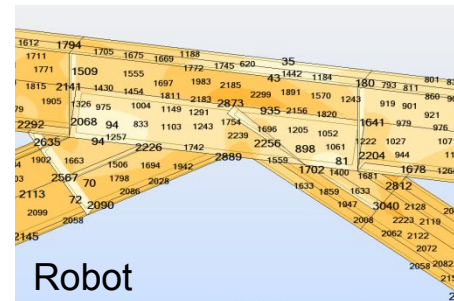
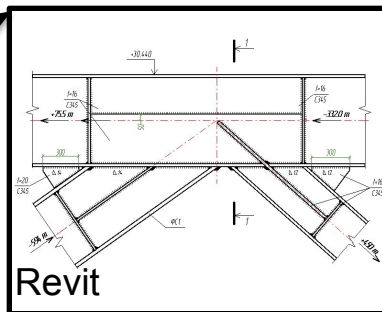


# Численное исследование НДС узлов несущей системы подвесных перекрытий в каркасе «Блока-С» в «IT-парке»

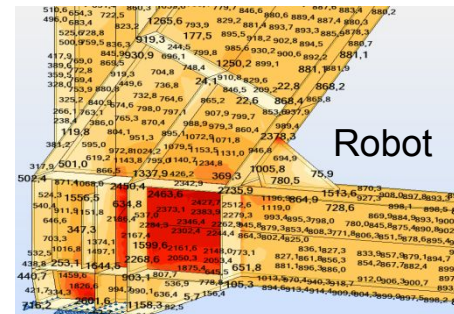
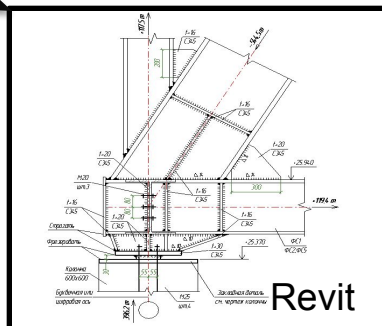
Поперечный разрез «Блока С»



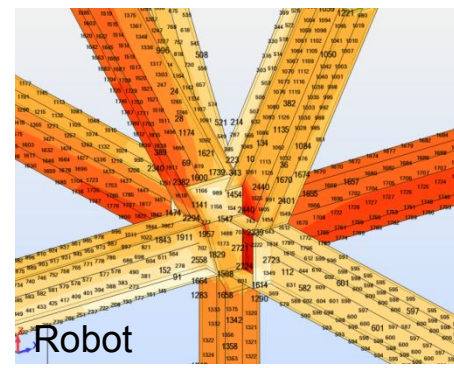
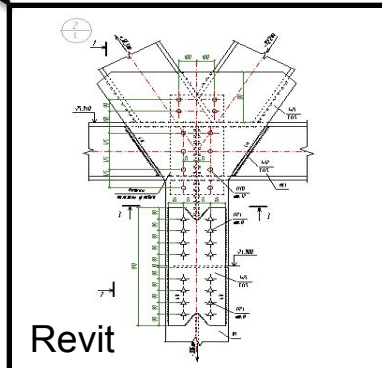
## 1. Исследование НДС узла сжатого пояса



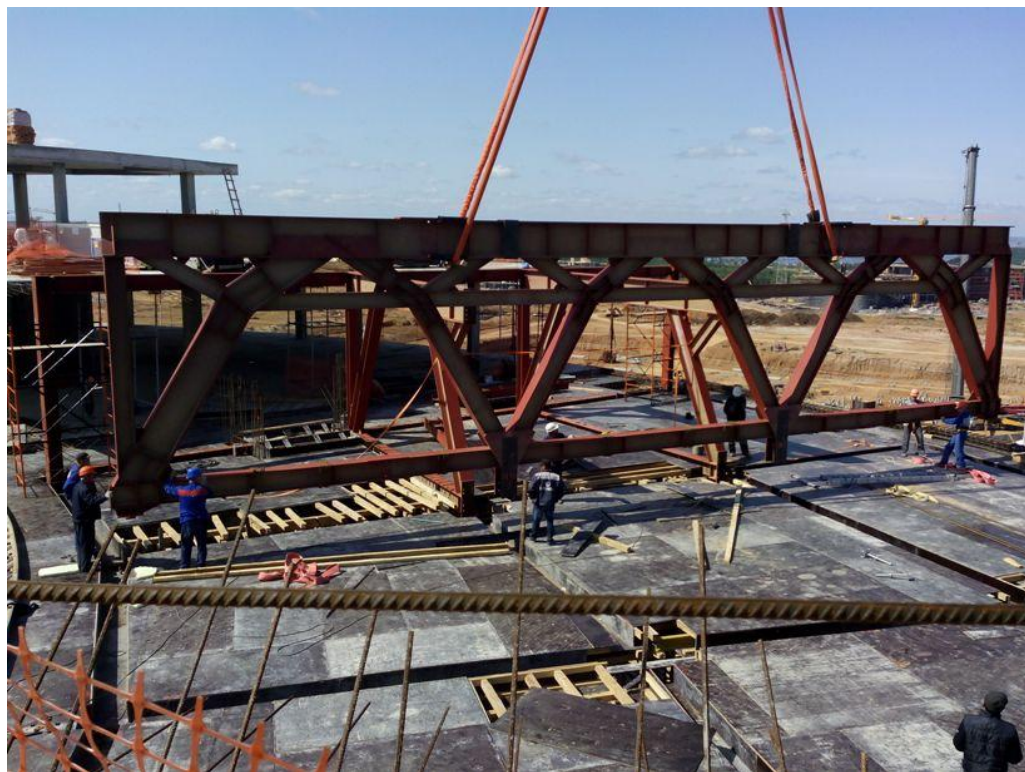
## 2. Исследование НДС опорного узла



## 3. Исследование НДС подвесного узла



## Монтаж стальных элементов сталежелезобетонной фермы покрытия в здании Технопарка №1





# Иннополис. Станция первого подъема на водозаборе.

Основа для фрагмента колодезя

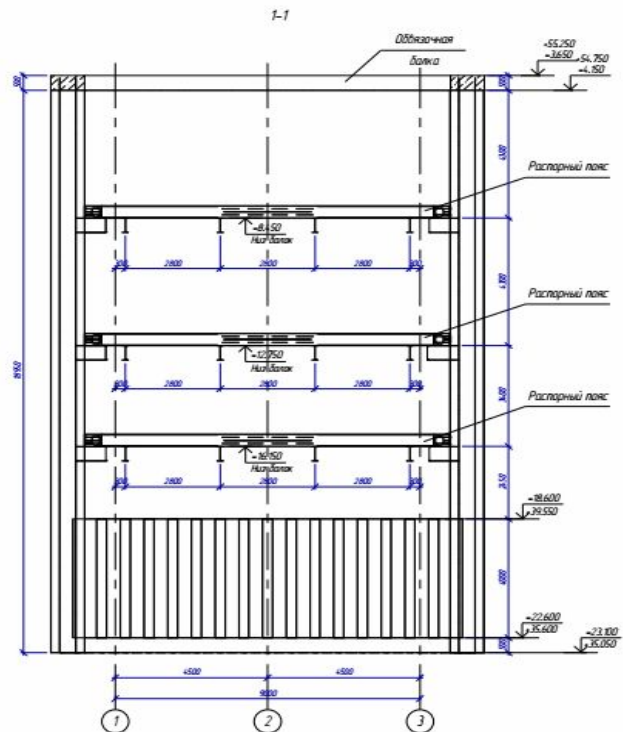
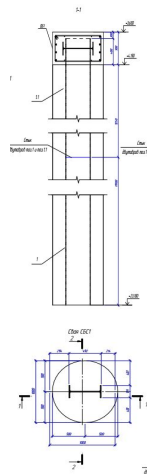
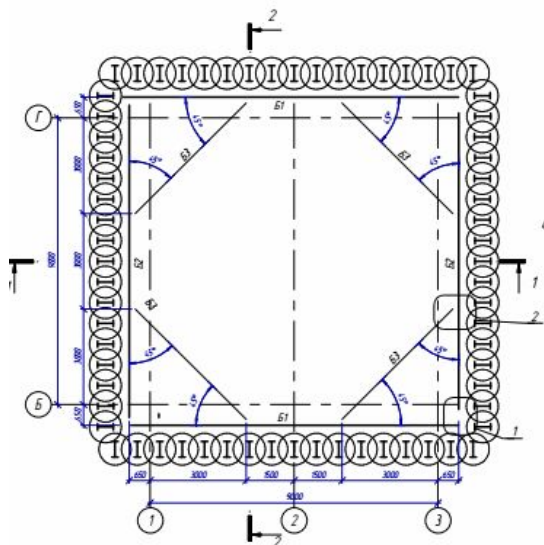
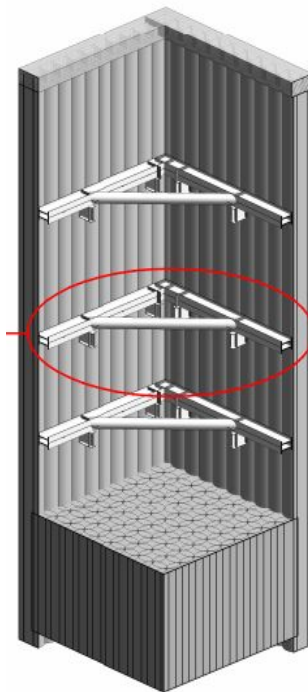


Схема расположения балок распорных поясов на отм. -8,450, -12,750, -16,150





# Реконструкция лабораторно-испытательного корпуса (эллинга), г. Долгопрудный.

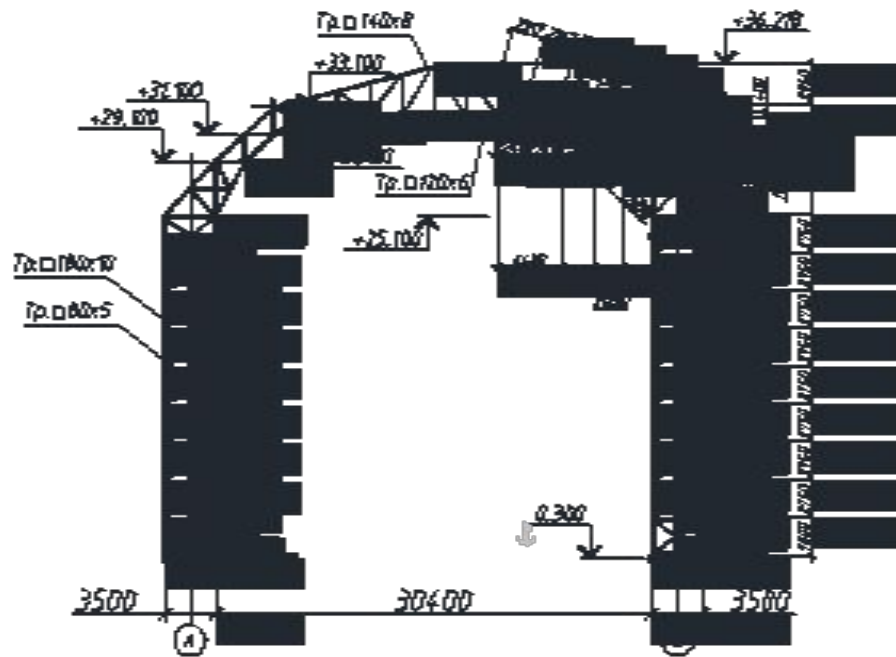
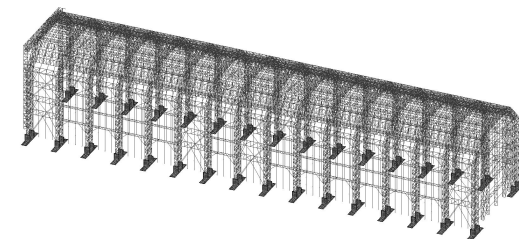
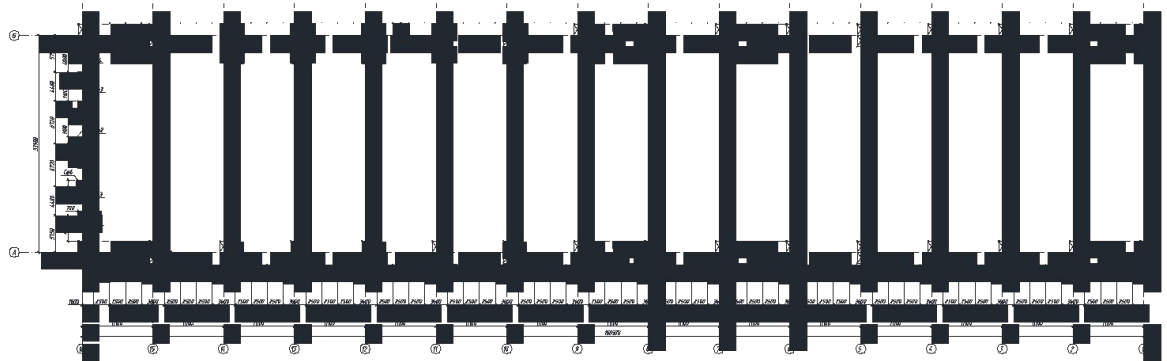
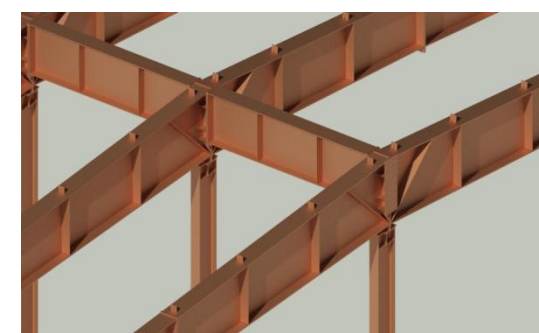
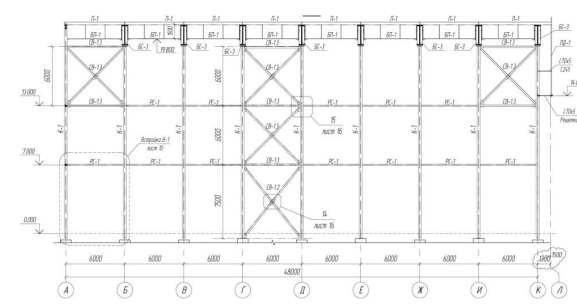
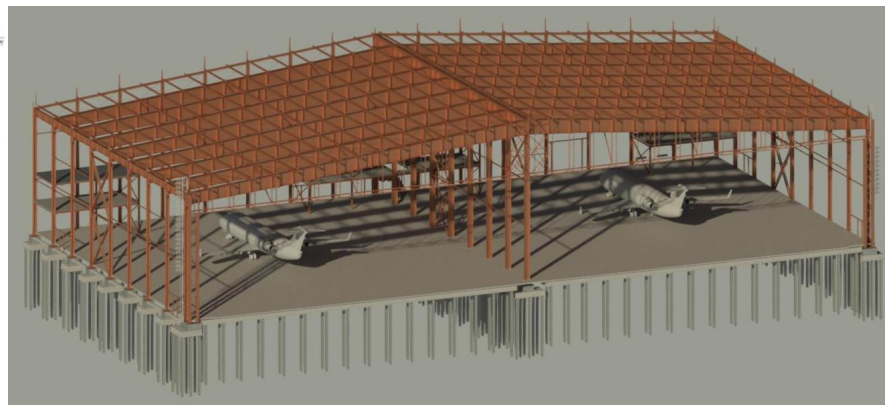
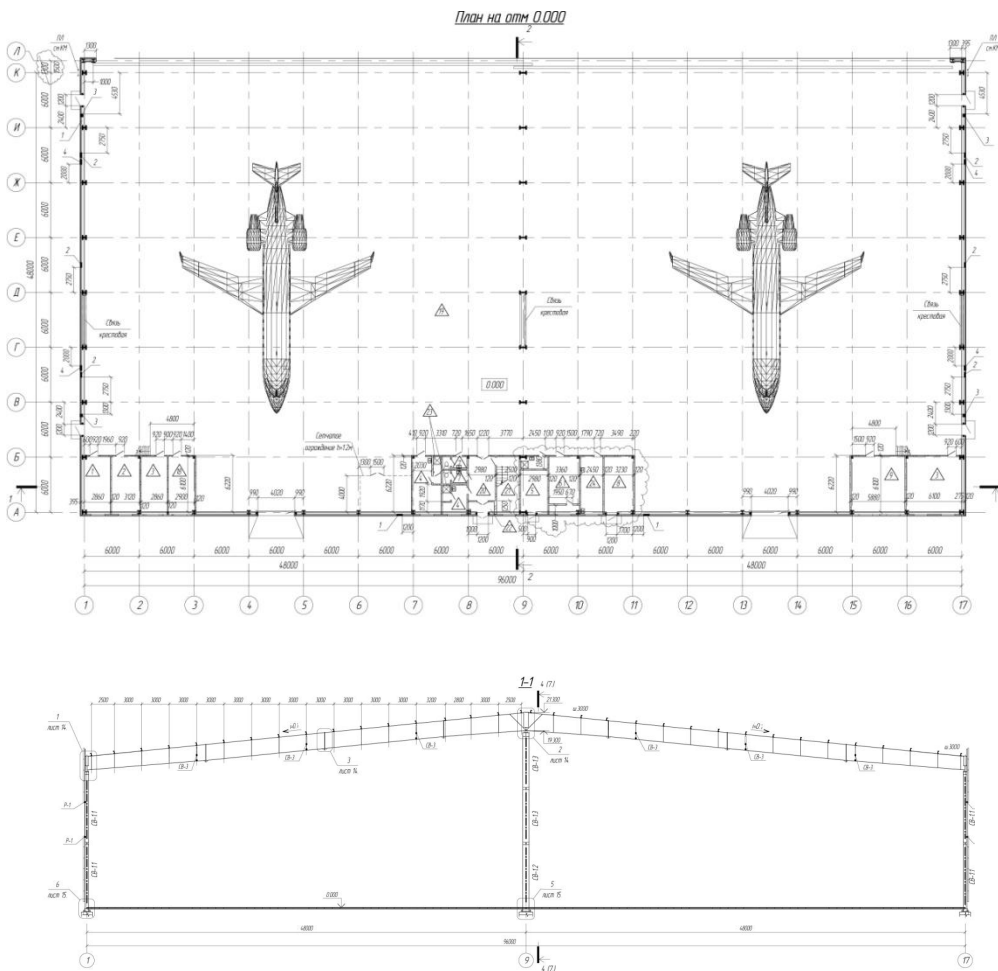


Схема расположения стоек, фермы и стеновых панелей.



# Аэропорт «Бегишево». Ангар пролетом 48,0+48,0м с элементами, исключаящими прогрессирующее обрушение.





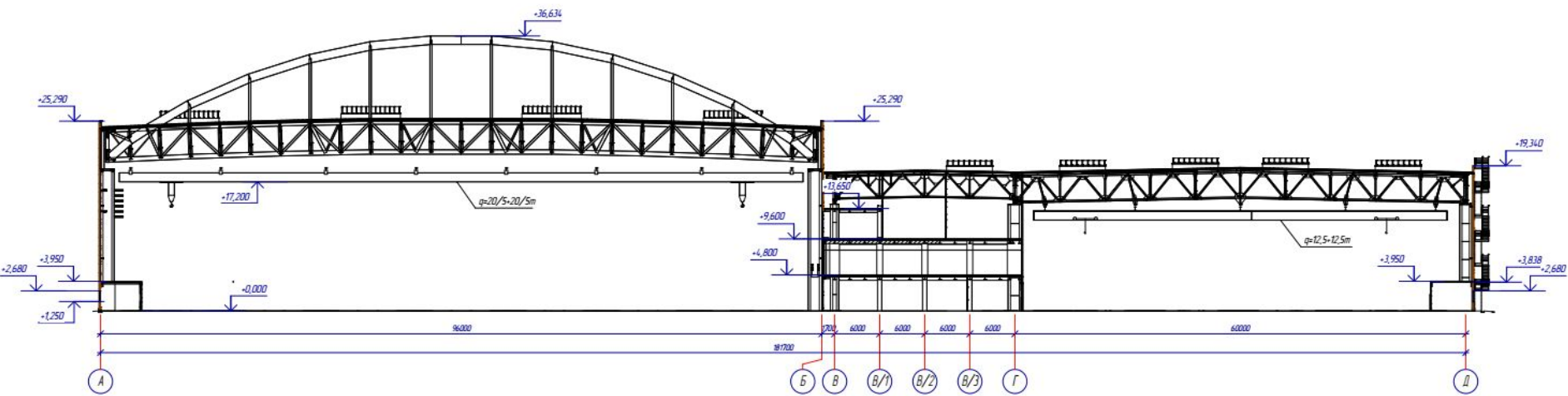
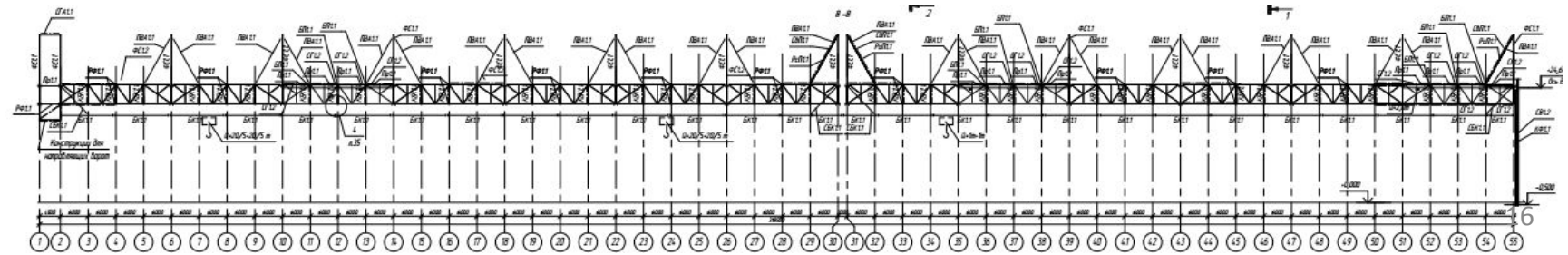
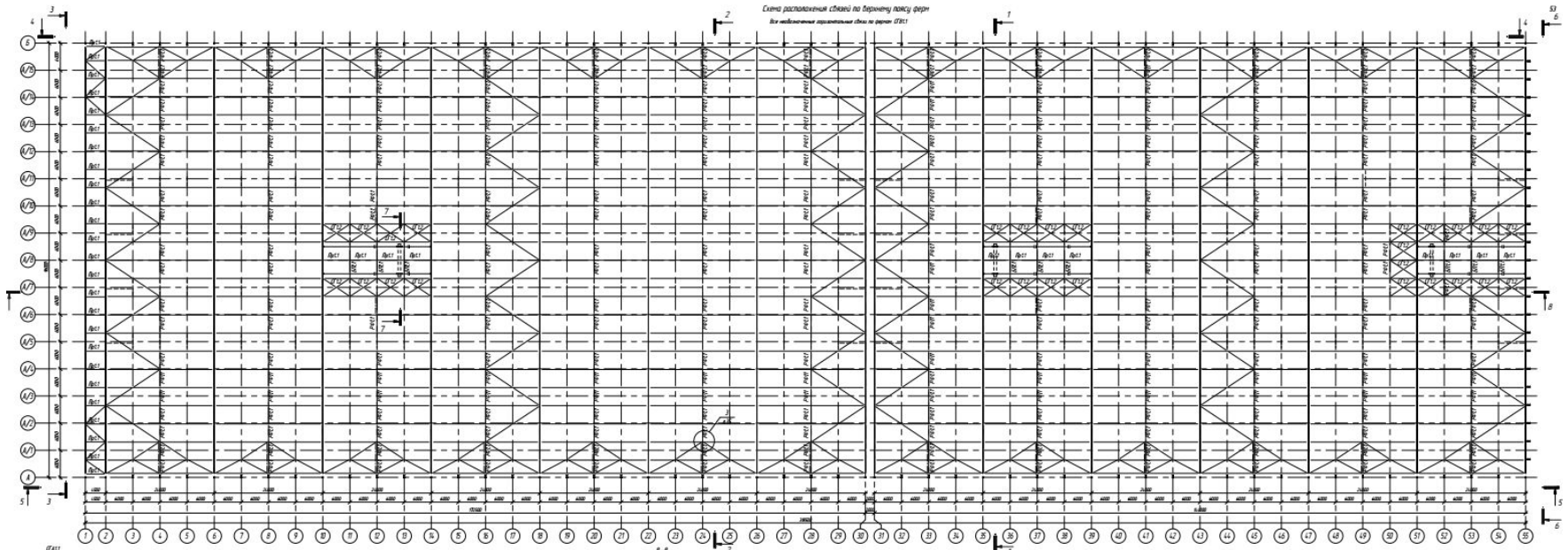
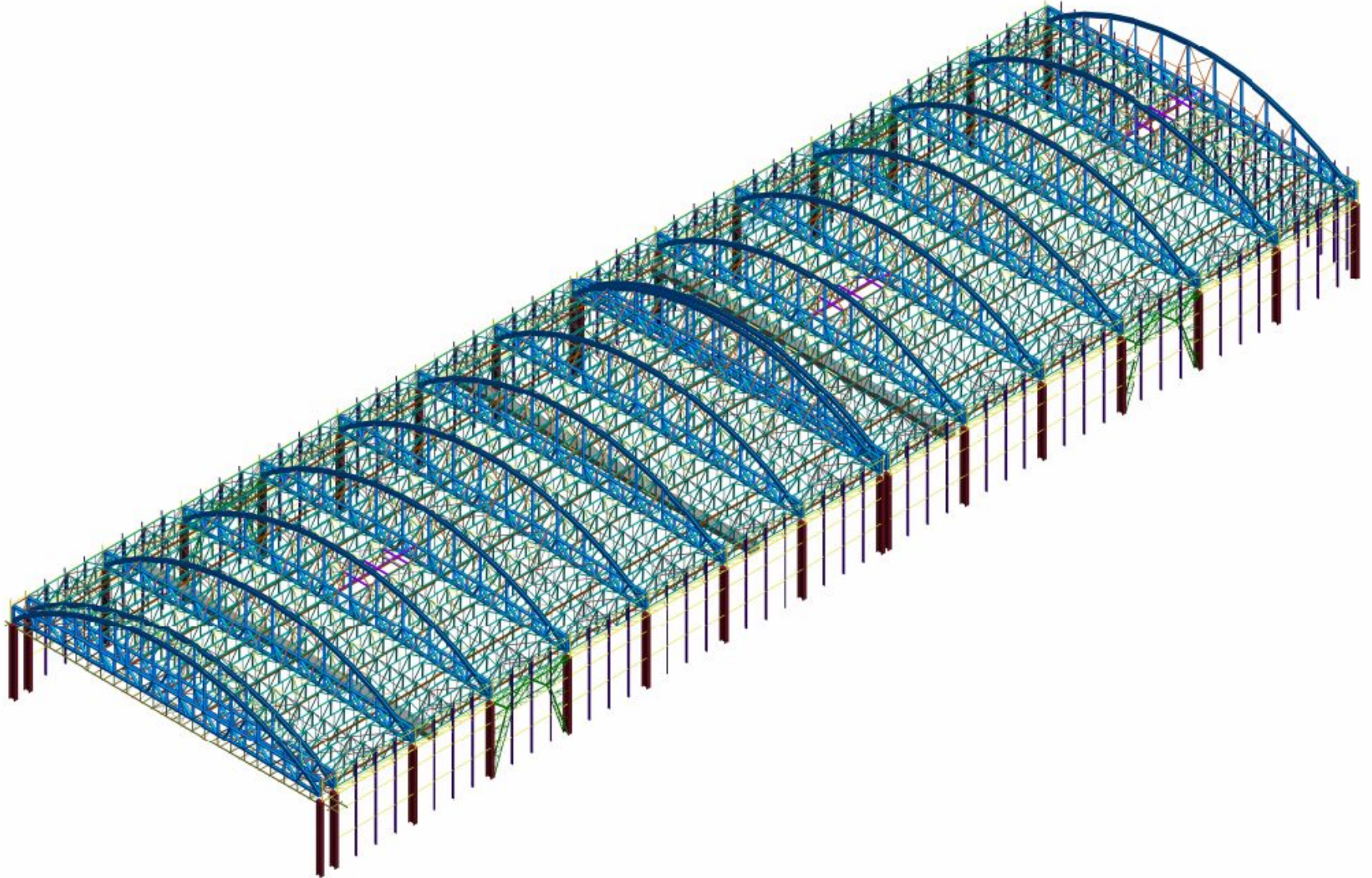


Схема расположения стоек по длине пояса ферм  
 для изготовления параллельных стоек по чертежам ДКВ1

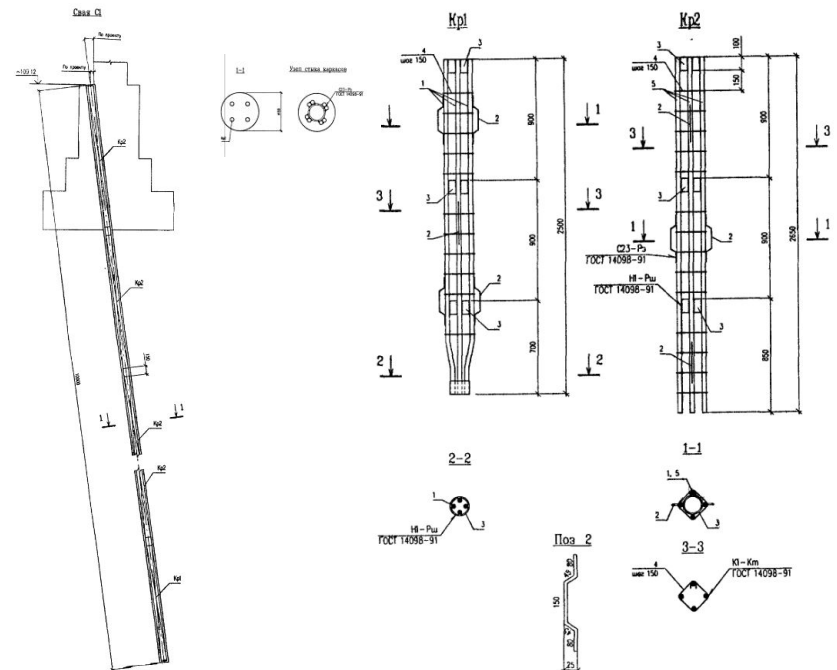
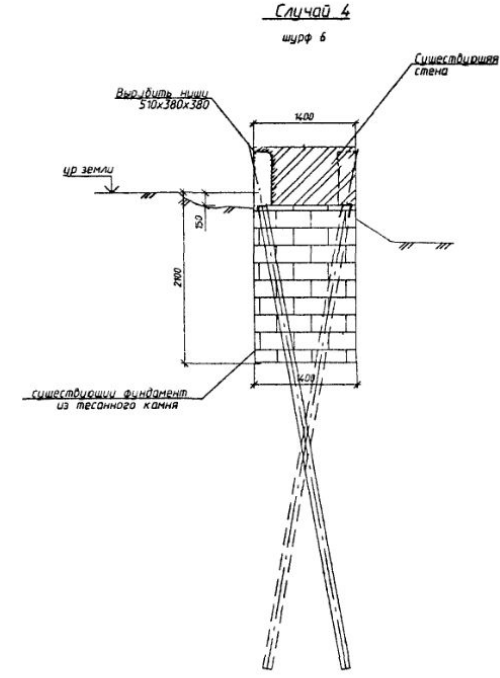
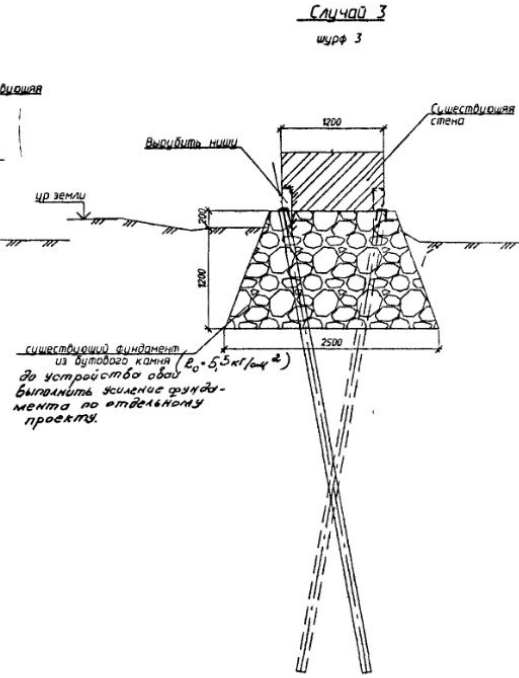
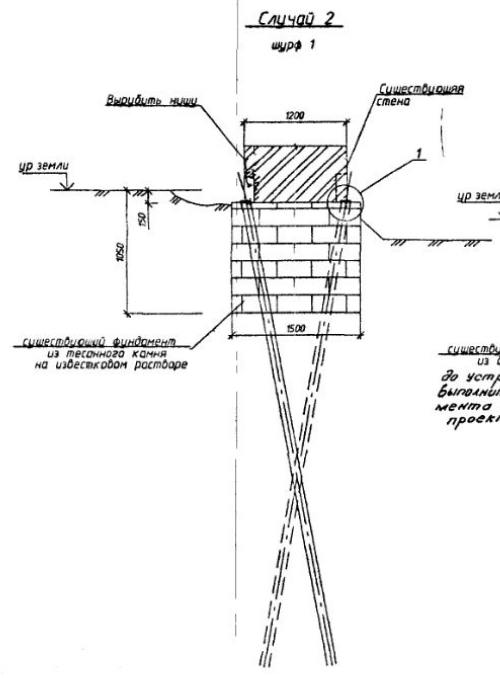
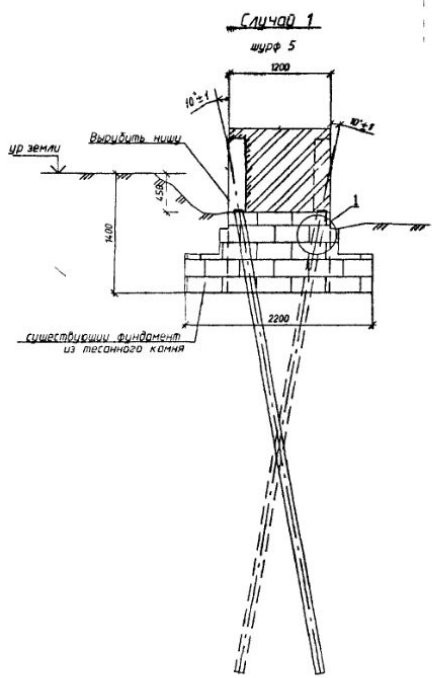




# Корпус №251. Конечно-элементная модель пролета 96,0м



# Остров Свяжск. Братский корпус. Варианты усиления фундаментов буринъекционными сваями из пескобетона

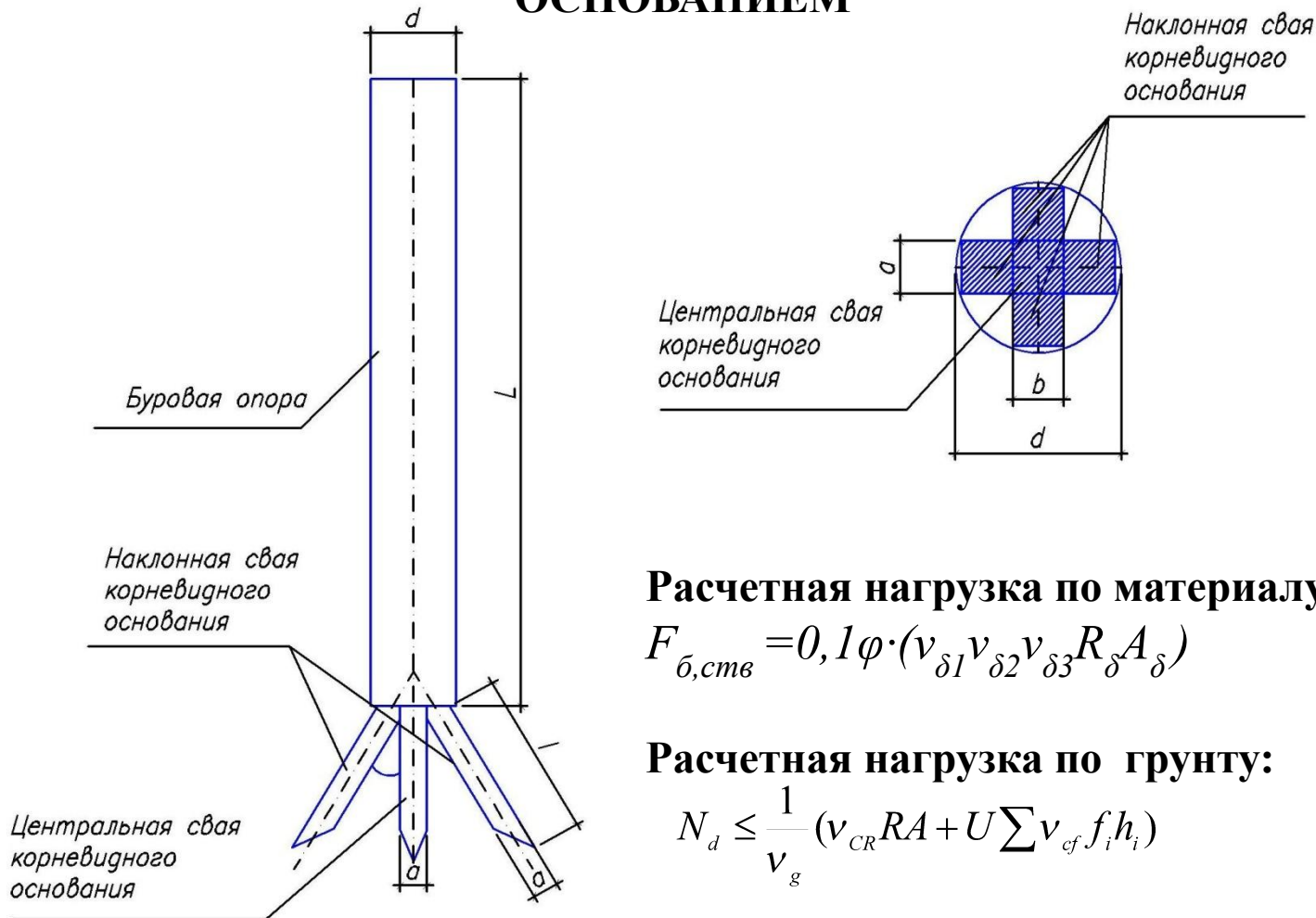


Спецификация на сваю С1

Поз	Обозначение	Наименование	Кол	Масса	Примечание
<u>Свая С1</u>					
<u>Сборочные единицы</u>					
Кр1	лист	Каркас Кр1	1		
Кр2	лист	Каркас Кр2	3		
<u>Материалы</u>					
-		Мелкозернистый бетон гр Б, кл В25 F50 на портландцементе М400 по ГОСТ 10178-85	-	0,29 м3	



# КОНСТРУКЦИЯ БУРОВЫХ ОПОР С КОРНЕВИДНЫМ ОСНОВАНИЕМ



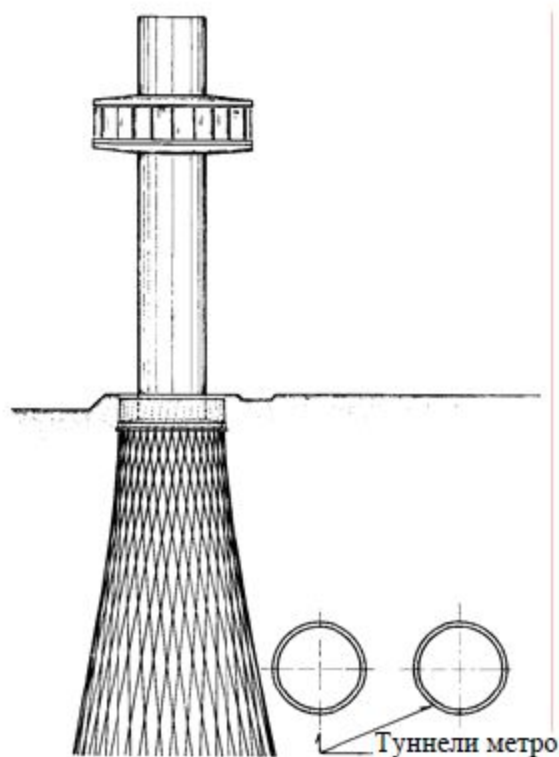
**Расчетная нагрузка по материалу ствола:**

$$F_{б,ств} = 0,1 \varphi \cdot (v_{\delta 1} v_{\delta 2} v_{\delta 3} R_{\delta} A_{\delta})$$

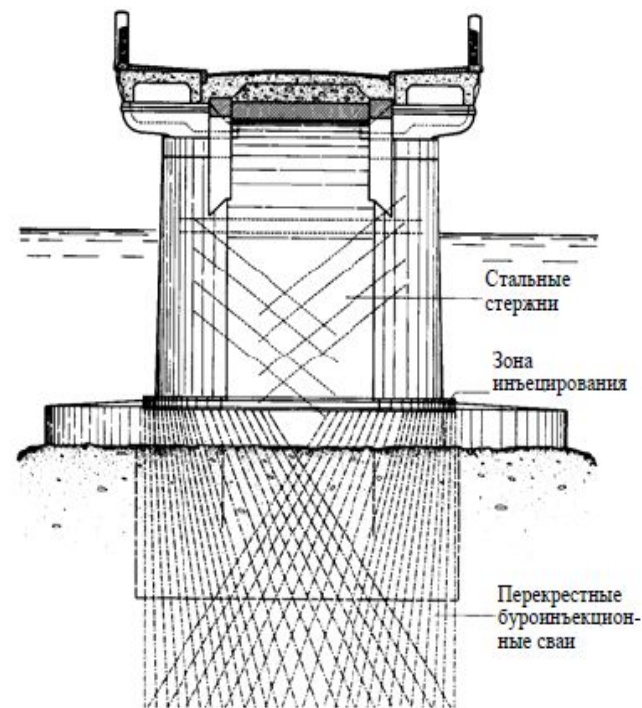
**Расчетная нагрузка по грунту:**

$$N_d \leq \frac{1}{v_g} (v_{CR} RA + U \sum v_{cf} f_i h_i)$$

## ПРИМЕНЕНИЕ КОРНЕВИДНЫХ МИКРОСВАЙ В РЕКОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ



Усиление фундамента панорамной башни в  
Токио с помощью перекрестных  
корневидных свай

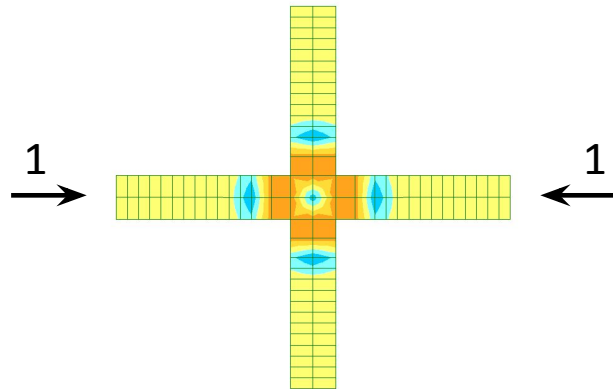


Укрепление фундамента Длинного  
моста (XV век) в  
Бидерфорде, Англия

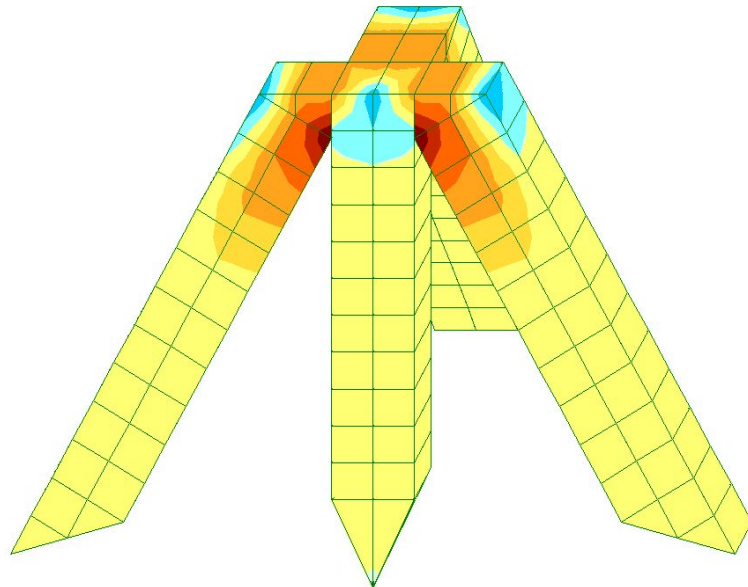


# ИЗОПОЛЯ ГЛАВНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ $N_1$ И $N_3$ КОРНЕВИДНОГО ОСНОВАНИЯ

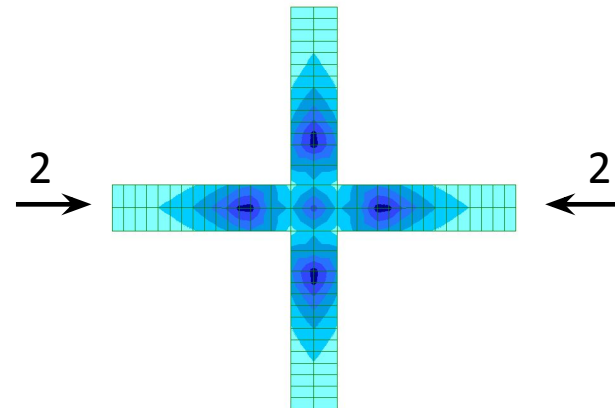
Напряжения  $N_1$



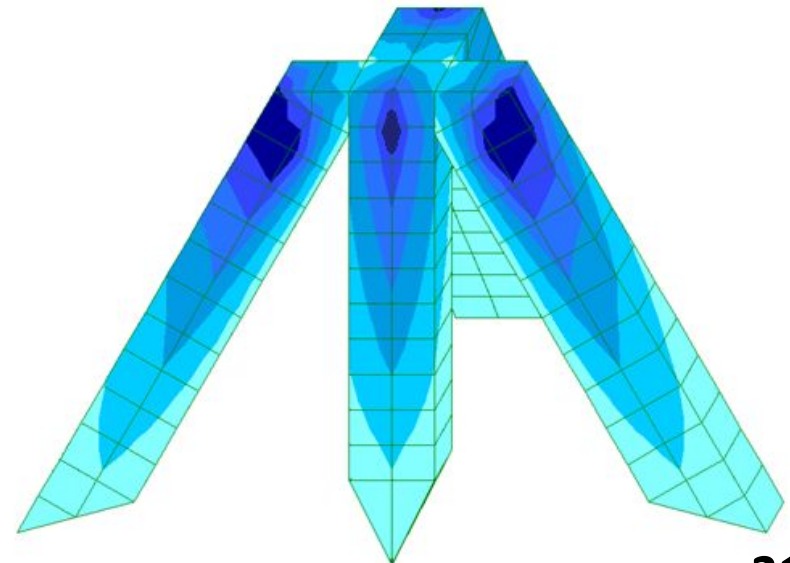
1-1



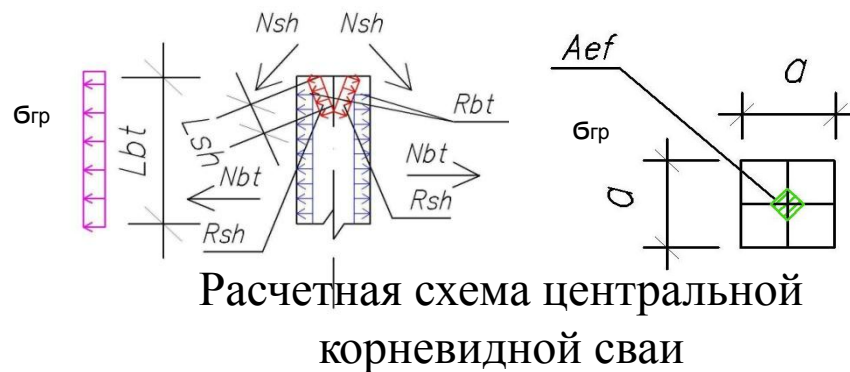
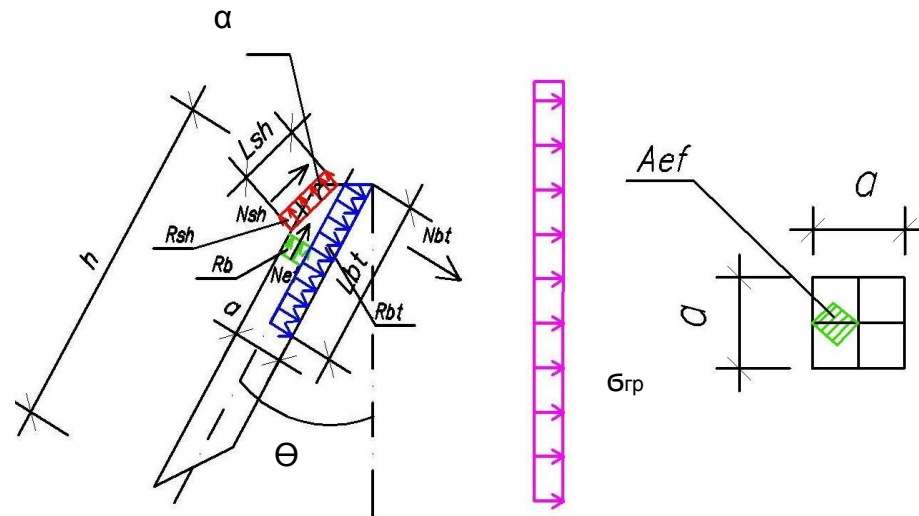
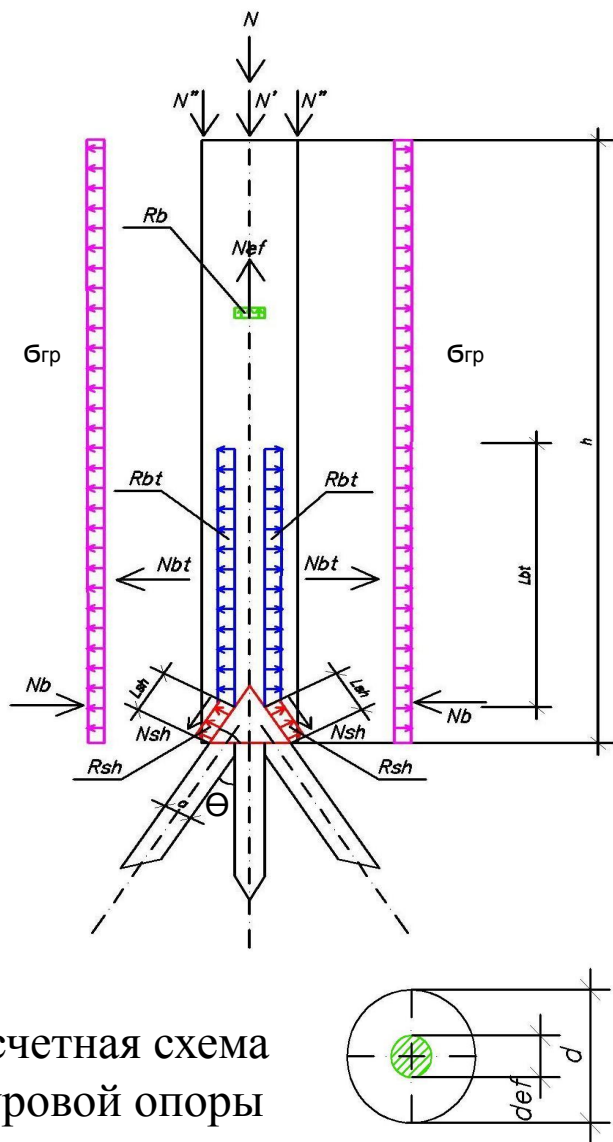
Напряжения  $N_3$



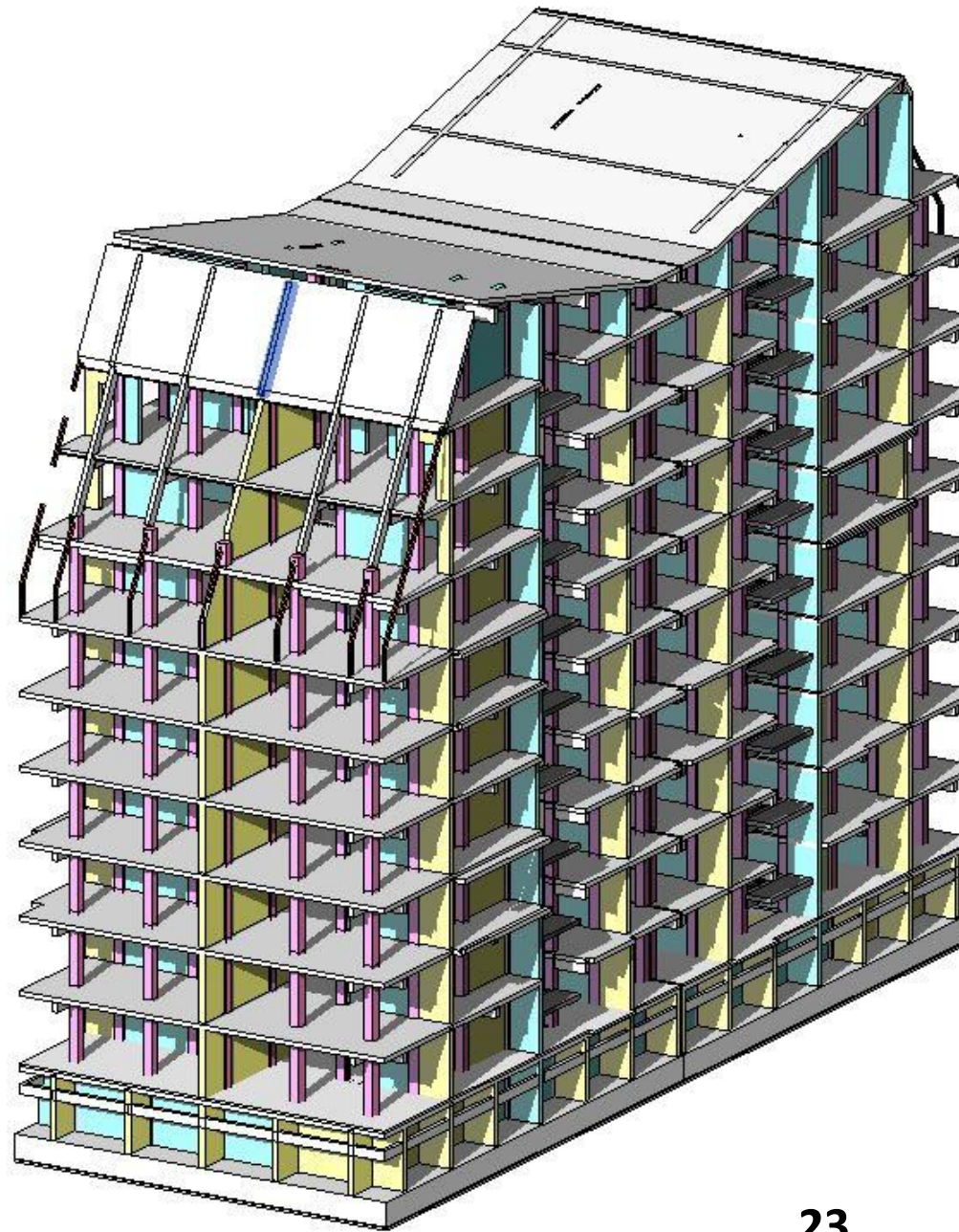
2-2



# РАЗРАБОТКА МЕТОДИК РАСЧЕТА БУРОВЫХ ОПОР С КОРНЕВИДНЫМ ОСНОВАНИЕМ

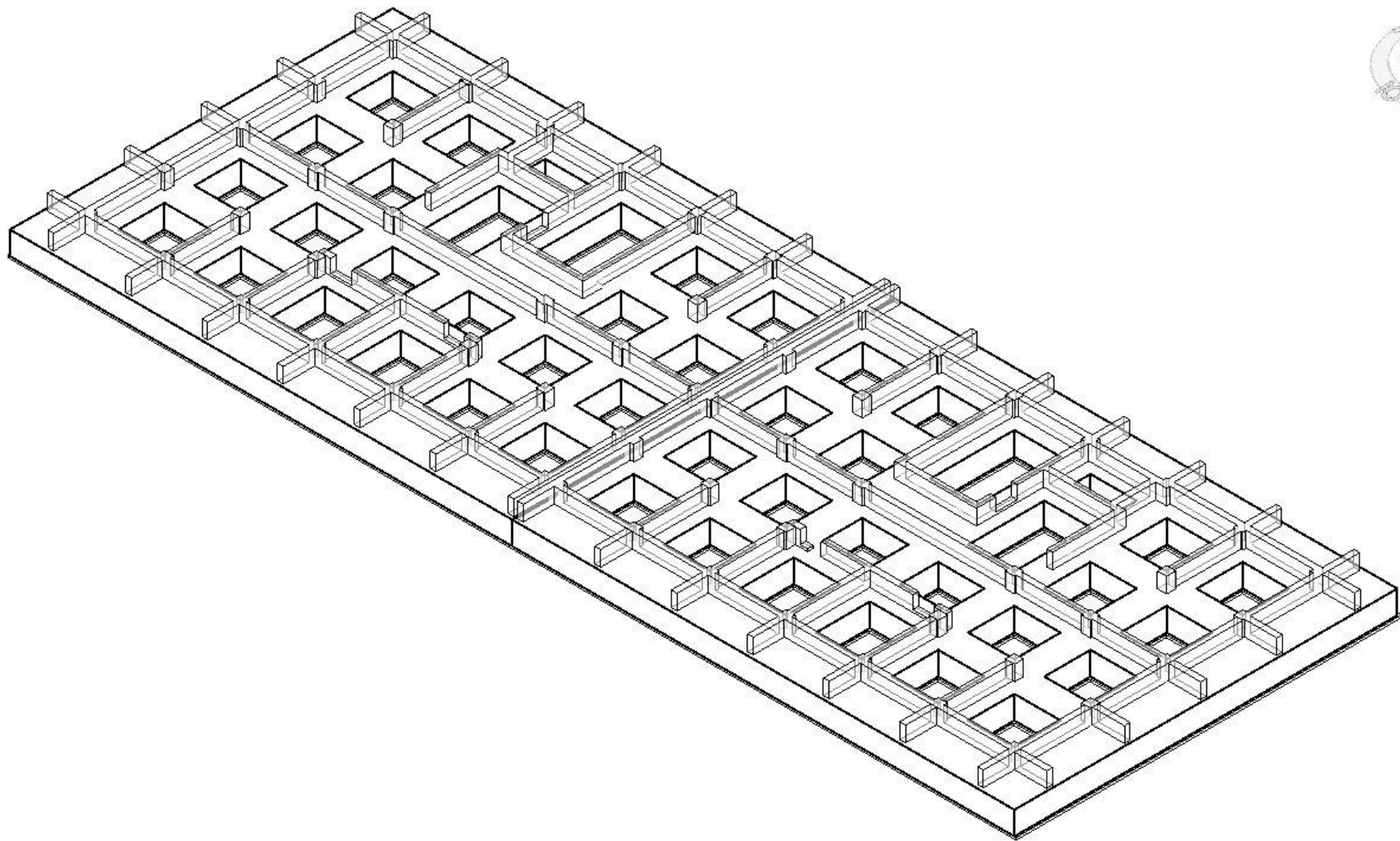




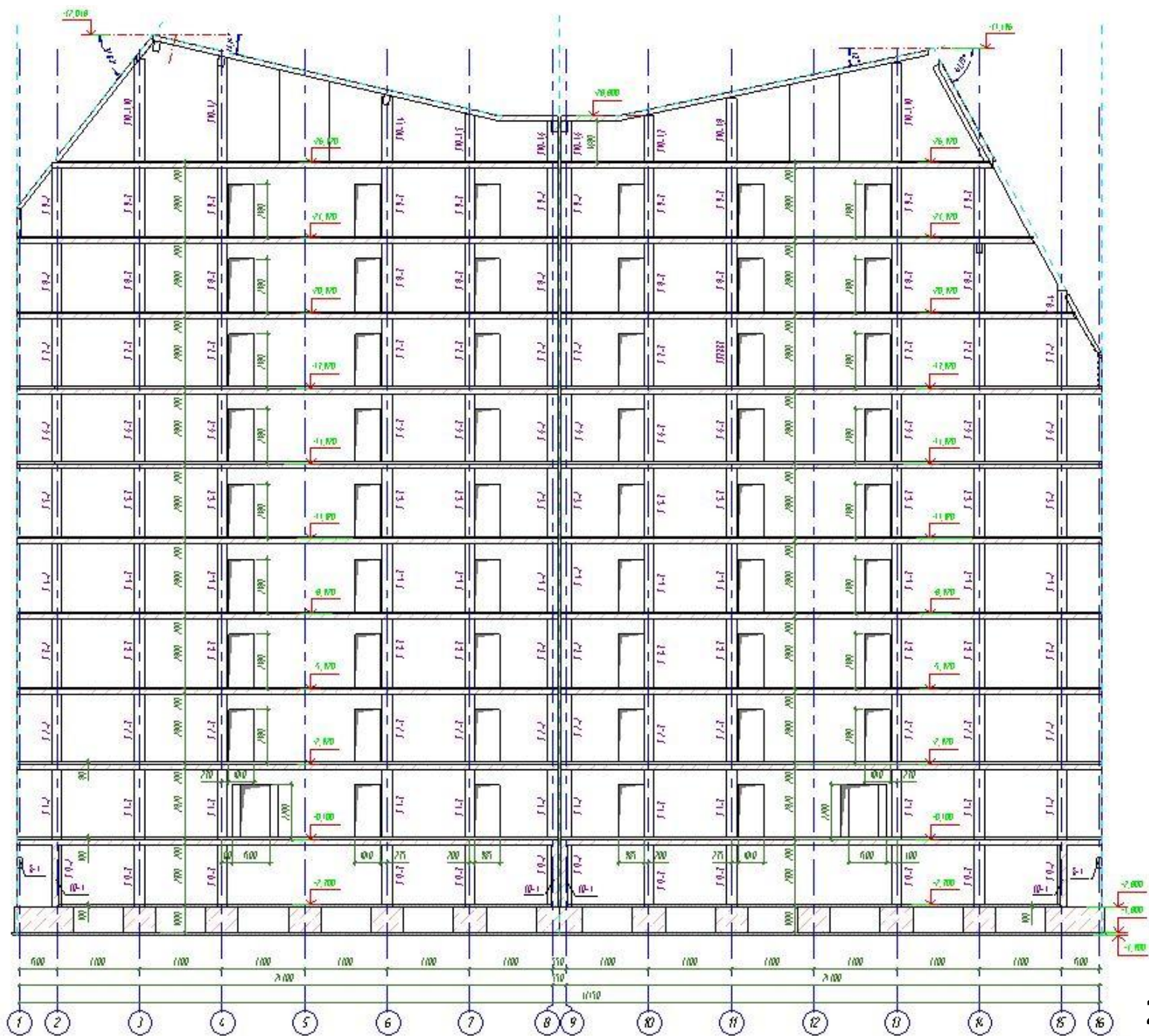




# г. Керчь. Перекрестно-ленточный фундамент для 8-ми бальной зоны сейсмичности







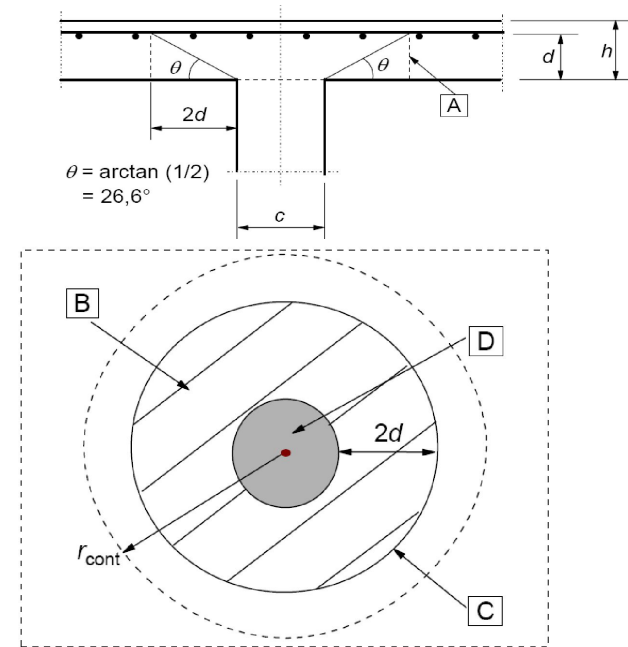
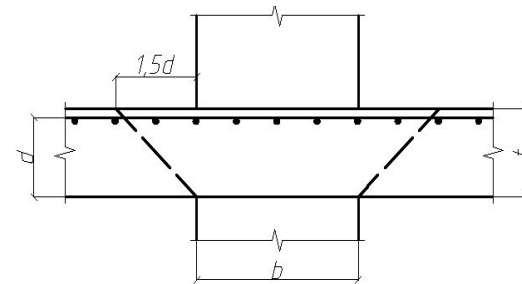
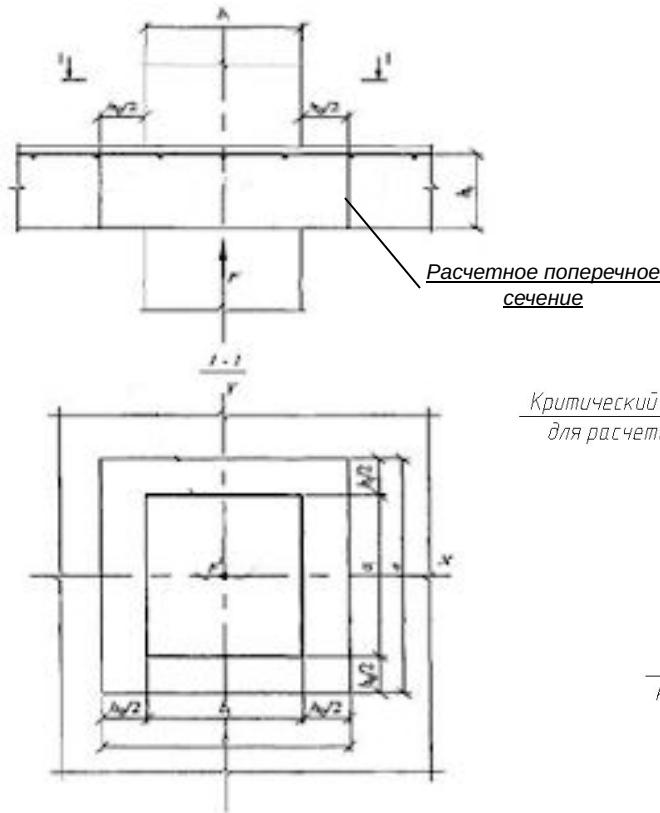
# Прочность горизонтальных стыков монолитного железобетонного каркаса из высокопрочного или пескобетона в зонах продавливания плит перекрытия

## Нормативный подход различных стран к расчету на продавливание

СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения»

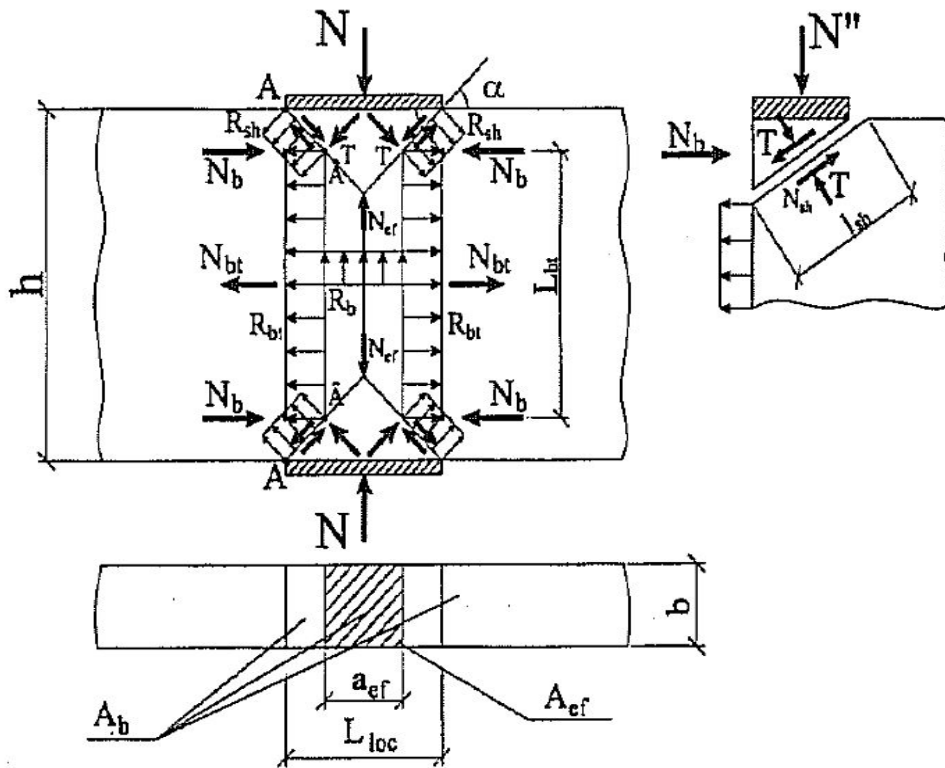
СНБ 5.03.01-02 «Бетонные и железобетонные конструкции»

ЕН 1992-1 Еврокод 2 «Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий»



Расчетные схемы на продавливание плоских плит перекрытий

# Теория сопротивления анизотропных материалов сжатию, принятая за основу для создания методики расчета на продавливание, с применением КСА



Модель разрушения бетона как анизотропного материала в сжимающем силовом потоке

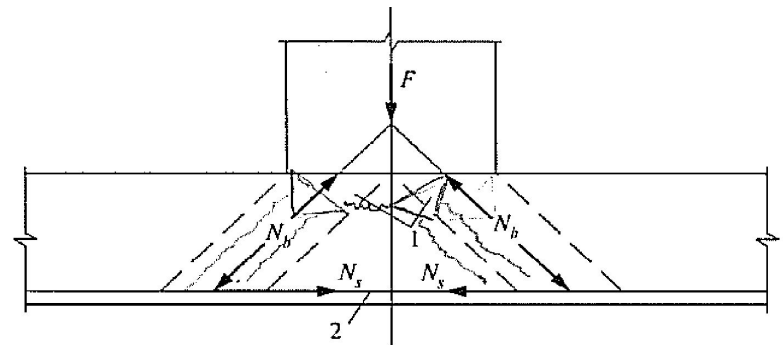
$$N \leq \frac{(N_{bt} + N_{sw}) \cos \alpha + 2N_{sh} + N_{ef}}{\sin \alpha}$$

$N_{bt} = R_{bt} A_{bt}$  -сопротивление отрыву

$N_{sh} = R_{sh} A_{sh}$  -сопротивление сдвигу

$N_{ef} = R_b A_{ef}$  -сопротивление раздавливанию

$\alpha = \arctg[(0.25R_b / R_{bt}) - 1.56]$  -угол наклона грани клина

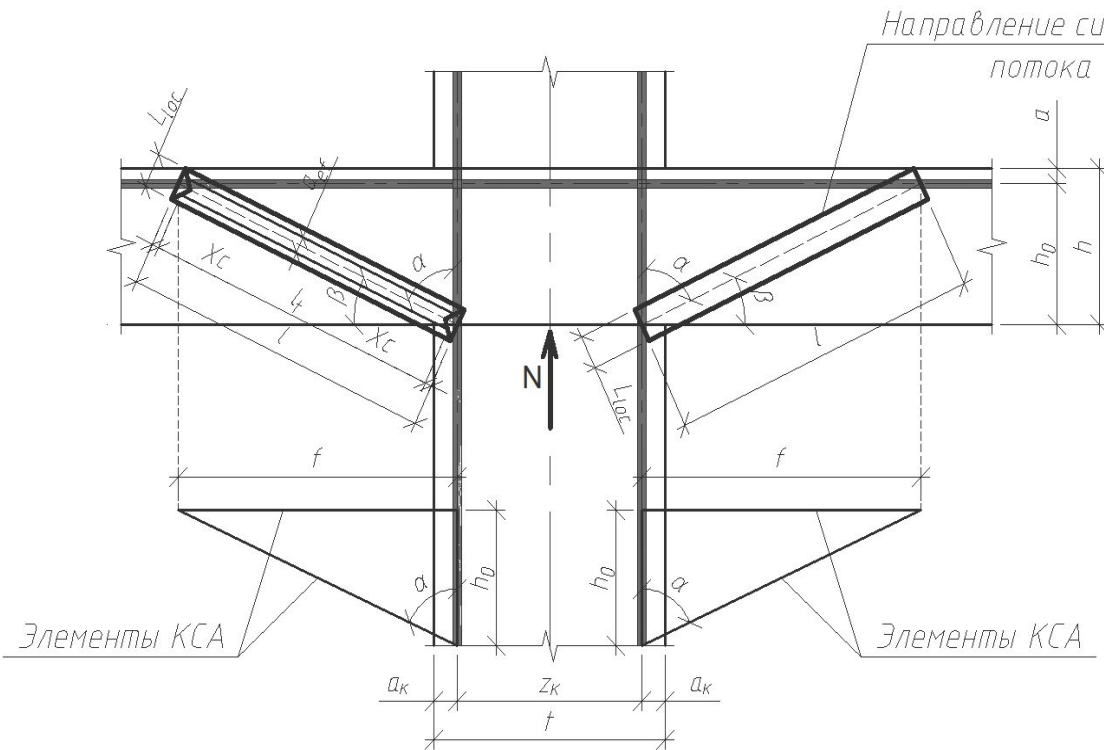


Расчетная схема при продавливании по каркасно-стержневой модели

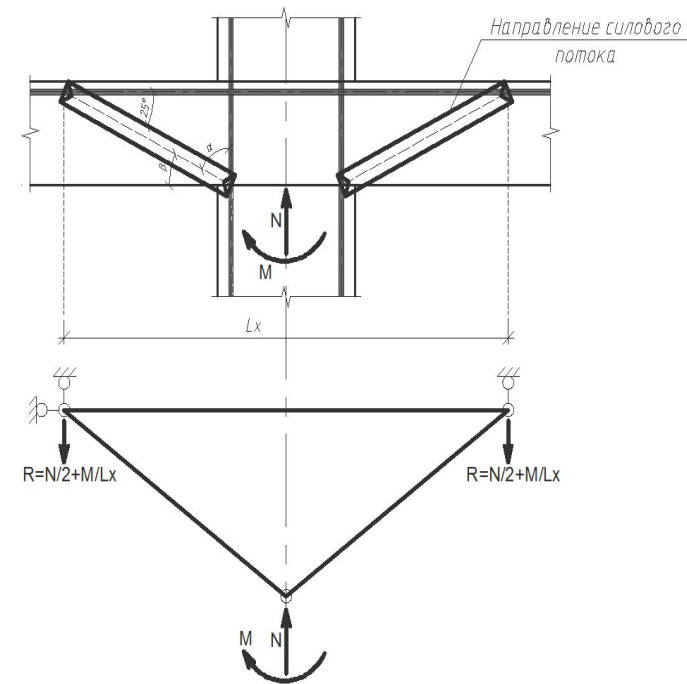


# Расчетная модель продавливания плиты перекрытия с использованием каркасно-стержневого аналога (КСА)

1. Данная модель впервые предложена академиком, д.т.н. Залесовым А.С.
2. Модель позволяет применить теорию разрушения бетона в сжимающем силовом потоке, д.т.н., член-корр. РААСН, профессор ЖБИКК Соколова Б.С.



Геометрическая схема каркасно-стержневого аналога (КСА)

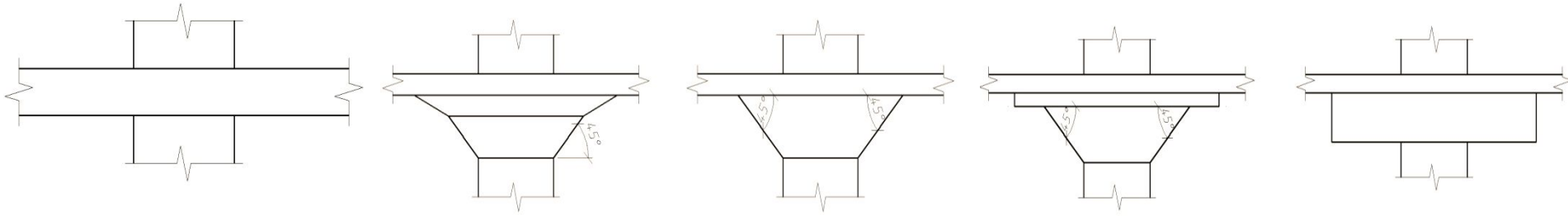


Статическая схема каркасно-стержневого аналога (КСА)

Каркасно-стержневая модель характеризуется сжатыми элементами (подкосами) напряженно-деформированное состояние которых характеризуется моделью разрушения бетона в сжимающем силовом потоке и растянутыми элементами- рабочая арматура железобетонной плиты

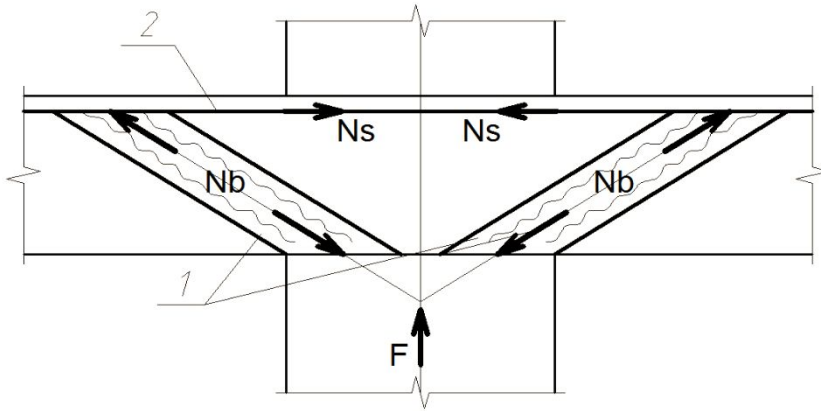
# Прочность горизонтальных стыков монолитного железобетонного каркаса из высокопрочного или пескобетона в зонах продавливания плит перекрытия

## Виды горизонтальных стыков работающих на продавливание



Плита перекрытия без капители

Плиты перекрытий с капителями. I-IV типов.



Каркасно-стержневой аналог для расчета зон продавливания

$$L_{loc} = \frac{2a}{\sin \alpha} \quad \text{- ширина сжимающего силового потока}$$

$$l = \frac{h_0}{\cos \alpha} \quad \text{- длина сжатого элемента КСА}$$

$$f = l \cdot \cos \beta \quad \text{- длина растянутого элемента КСА}$$

$$X_c = 0.5 \cdot L_{loc} \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha \quad \text{- высота площадки сдвига}$$

$$L_t = l - 2 \cdot X_c = \frac{h_0}{\cos \alpha - L_{loc} \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha} \quad \text{- длина зоны отрыва}$$

$$a_{ef} = L_{loc} \cdot \sin^2 \alpha \quad \text{- длина площадки раздавливания}$$

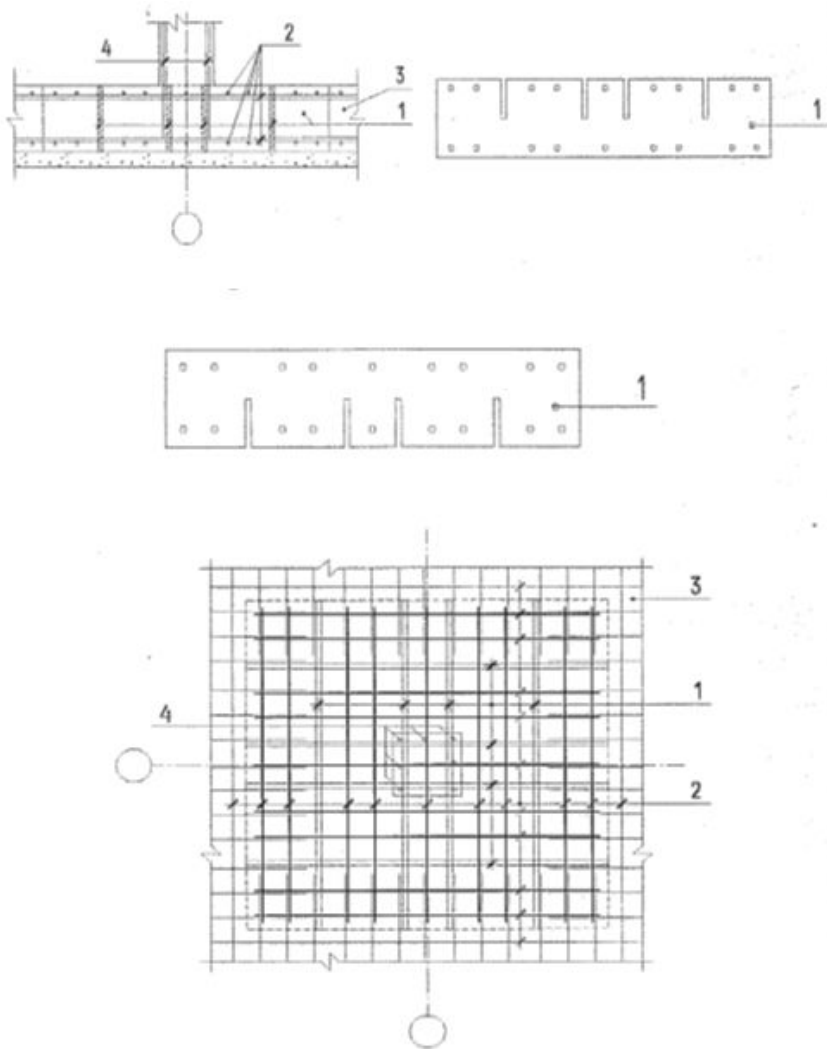
$$\beta = 90^\circ - \alpha \quad \text{- угол наклона сжатого элемента КСА}$$

$$N_{ult} = \left\{ 2R_{bt} \cdot \operatorname{ctg} \alpha \left[ \frac{h_0}{\cos \alpha} + 2a \left( \frac{6}{\sin \alpha} - 1 \right) \right] + 2aR_b \sin \alpha \cdot \cos \alpha \right\} \cdot u$$

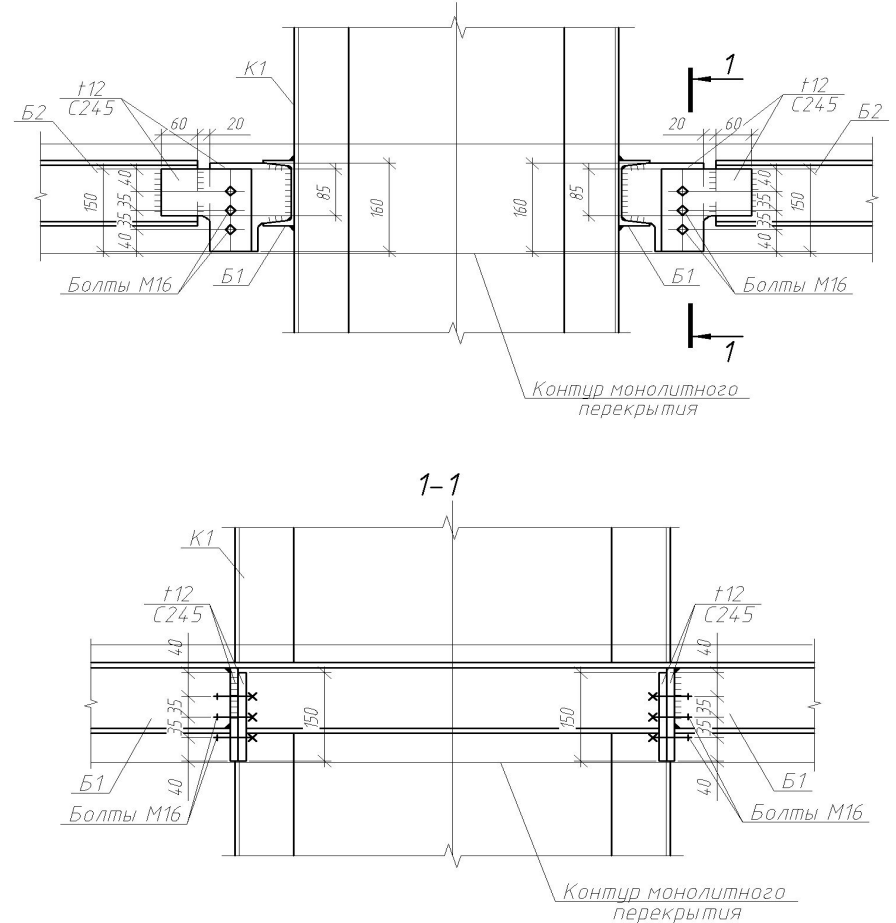
# Прочность горизонтальных стыков монолитного сталежелезобетонного каркаса из высокопрочного или пескобетона в зонах продавливания плит перекрытия

## Способ армирования зон продавливания стальным прокатом

Армирование стальными листами, автор Пекин Д.А.  
Гл. констр. ООО «ИНВ-Строй»



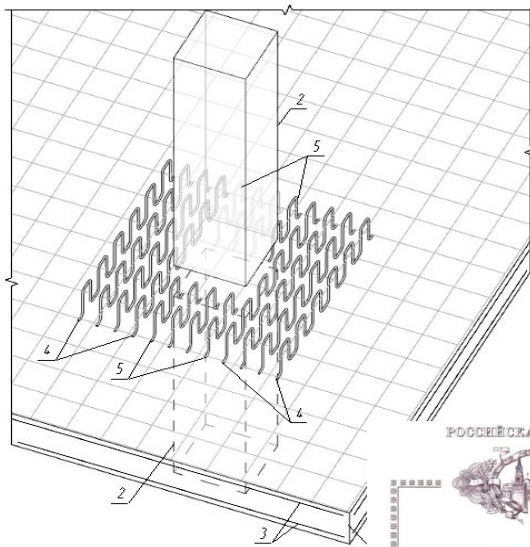
Армирование стальными двутаврами. Разработка  
Казанского «Гипрониавиапром»





# Армирование зон продавливания перекрытий

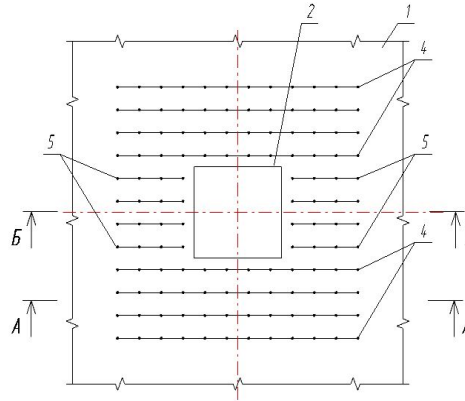
Узел соединения колонны и плоского железобетонного перекрытия



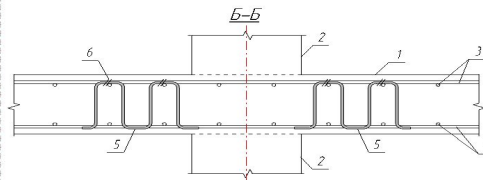
РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



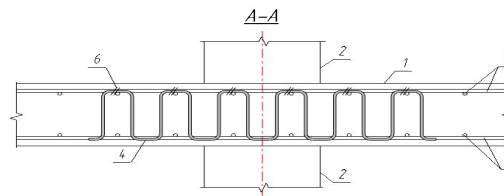
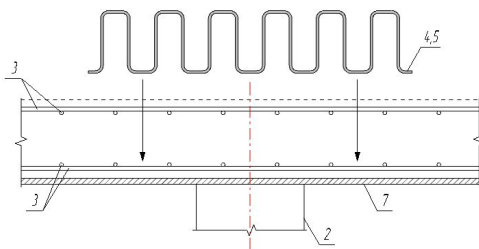
Узел соединения колонны и плоского железобетонного перекрытия



Узел соединения колонны и плоского железобетонного перекрытия

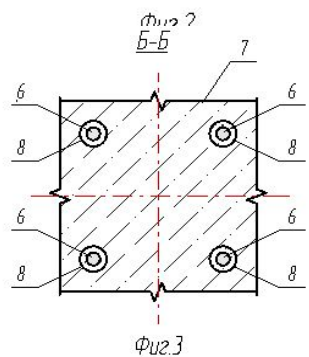
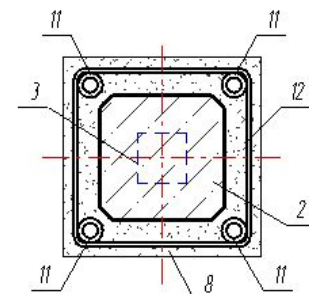
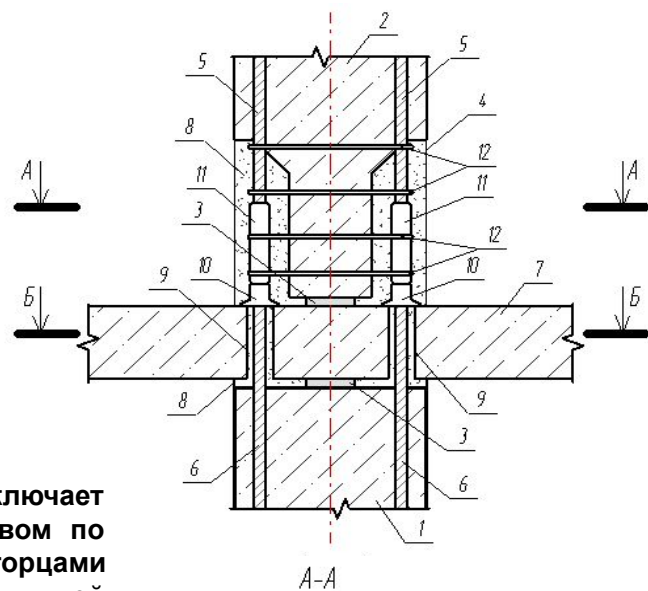
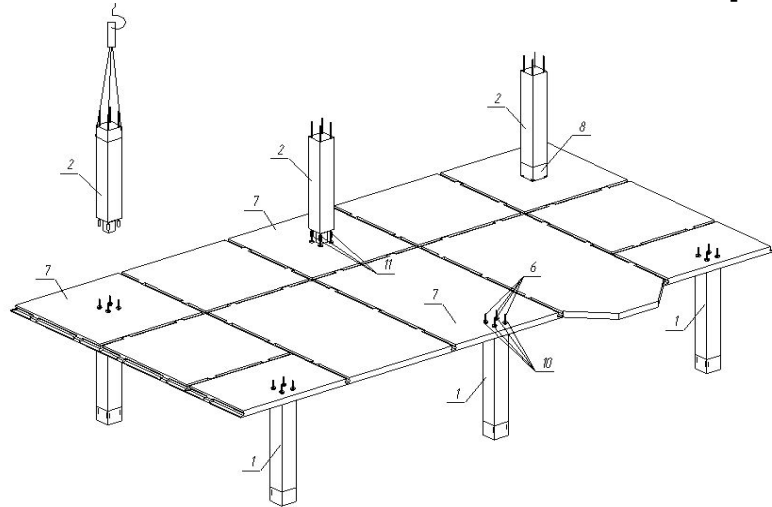


Узел соединения колонны и плоского железобетонного перекрытия



Выполнение поперечной арматуры в виде плоской пружины, с фиксацией вязальной проволокой, обеспечивает ее надежную анкеровку в бетоне за счет наличия неразрезного единого стержня, в виде многократных его перегибов в поперечном направлении, что полностью исключает проскальзывание поперечной арматуры в бетоне и обеспечивает необходимую длину анкеровки, позволяющую полностью использовать прочность стали на растяжение. Простота установки поперечной арматуры значительно уменьшает трудоемкость в изготовлении всех стыков несущего каркаса.

# Стыковое соединение сборных железобетонных колонн с перекрытием



Стыковое соединение сборных железобетонных колонн с перекрытием включает установленные на одной вертикальной оси железобетонного каркаса с разрывом по высоте концевые участки нижней и верхней колонн и, размещенное между торцами колонн, перекрытие, через которое пропущены выпуски продольной арматуры нижней колонны, при этом сборные железобетонные колонны имеют стальные центрирующие прокладки по торцам и рабочую продольную сплошную арматуру винтового профиля, соединяющуюся между собой навинчивающимися на концах муфтами, стыкующими выпуски рабочей арматуры в нише верхней колонны, с последующим обхватыванием места стыка поперечными хомутами и зачеканиванием их быстротвердеющим мелкозернистым бетоном.

Отличительными признаками стыкового соединения сборных железобетонных колонн с перекрытием являются наличие в сборных железобетонных колоннах стальных центрирующих прокладок по торцам и рабочей продольной сплошной арматуры винтового профиля, соединяющейся между собой навинчивающимися на концах муфтами.

Благодаря наличию этих признаков создаются условия для ускорения и упрощения монтажа, т.к. сразу же после установки на нижнюю колонну перекрытия и заливки каналов перекрытия с проходящей через них продольной арматурой нижней колонны, быстротвердеющим мелкозернистым бетоном, перекрытие прижимается к нижней колонне гайками и прижатыми к ним соединительными муфтами, которые жестко фиксируют стык перекрытия с колонной и воспринимают все монтажные усилия на стыке, что дает возможность сразу же, не дожидаясь набора прочности мелкозернистым бетоном в каналах перекрытия продолжать монтаж соседних по этажу перекрытий и колонн с передачей монтажных усилий от них на ранее смонтированную колонну с перекрытием. Кроме того продольная арматура верхней и нижней колонны не прерываются.

# Расчетные выражения для определения несущей способности на продавливание, с применением КСА

Тип конструкций	Расчетное выражение
Фундаменты на естественном основании	
Угловая свая	
Плиты перекрытий без капители и с капителью	
С армированием стержневой арматурой	
Фундаменты на естественном основании	
Угловая свая	
Плиты перекрытий без капители и с капителью	
С армированием прокатным профилем	
Фундаменты на естественном основании	
Угловая свая	
Плиты перекрытий без капители и с капителью	

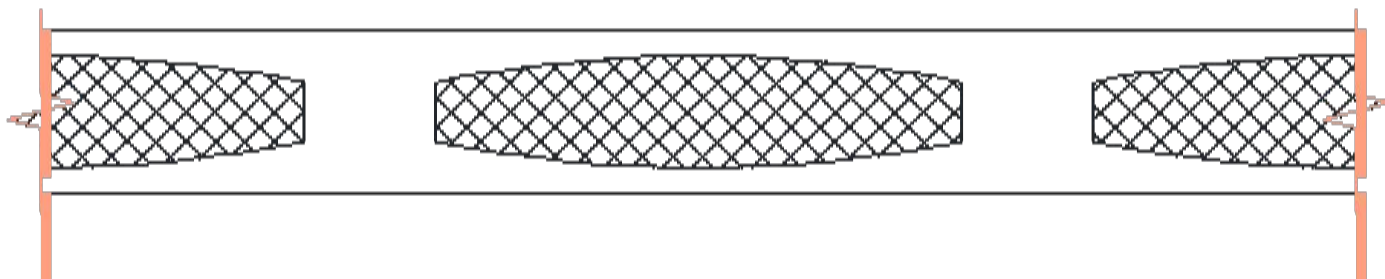
В результате теоретических исследований:

1. Получены расчетные выражения для оценки прочности на продавливание плоских железобетонных плит различных типов конструкций: фундаментные плиты, безбалочные перекрытия без капителей, безбалочные перекрытия с капителями, с применением каркасно-стержневого аналога.
2. Расчетное выражение основано на теории разрушения бетон в сжимающем силовом потоке. Сжатые элементы каркасно-стержневого аналога разрушаются от преодоления сопротивления бетона отрыву, сдвигу и раздавливанию.
3. Часть параметров входящих в расчетные формулы приняты как предположения и нуждаются в подтверждении по результатами численных и физических экспериментов.



## Прочность пустотных монолитных железобетонных перекрытий

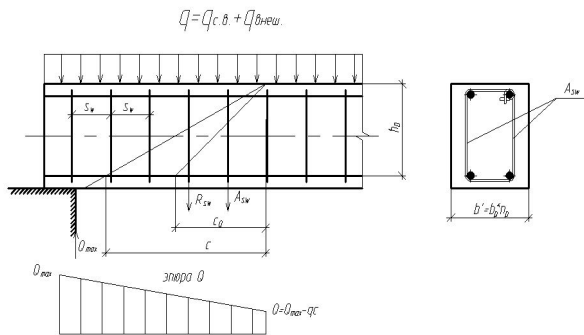
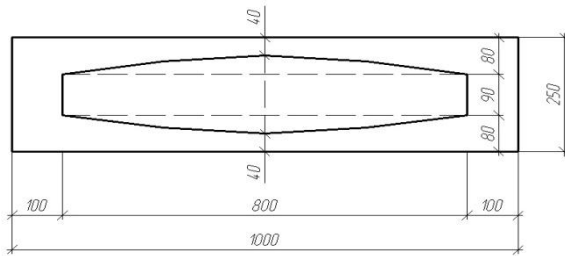
В строительстве многоэтажных жилых и общественных зданий во многих странах применялись и применяются в настоящее время несущие конструкции, в число которых входят железобетонные перекрытия с включениями из пустотных блоков, с пустотелыми камнями, ящиками, с легкими камнями, со шлакобетонными блоками-вкладышами, с гипсовыми блоками, а также сборные перекрытия с различными формами пустот (круглыми, эффективными, вертикальными и горизонтально-овальными) и предварительно напряженные сборно-монолитные кессонные перекрытия.



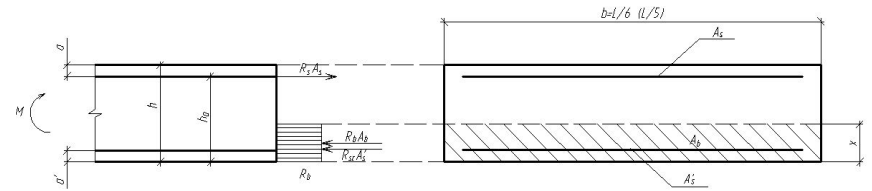
# Прочность пустотных монолитных железобетонных перекрытий

## Расчет исследуемой плиты по предельным состояниям первой группы

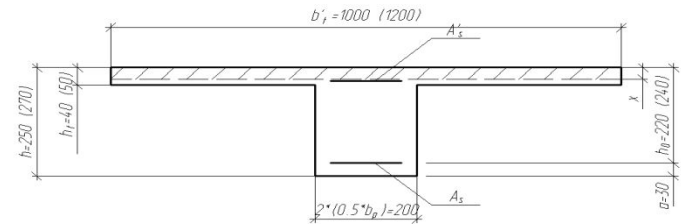
Тип перекрытия №1.1



К расчету по наклонным сечениям



К расчету опорного сечения перекрытия



К расчету пролетного сечения перекрытия

- Подбор рабочей арматуры
- Проверка прочности плиты по сечениям, наклонным к продольной оси
- Конструктивное решение перекрытия

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**