

# SCAD в учебном процессе МГТУ

*Мурманский государственный  
технический университет.*

*Кафедра ПГС*

*Котов Алексей Алексеевич*

В МГТУ ПК SCAD Office  
изучается студентами  
специальности ПГС  
и направления «Строительство»  
в рамках плановой учебной  
дисциплины, которая называется

*«Расчетные модели  
сооружений в  
конечноэлементных  
компьютерных комплексах  
(SCAD)»*

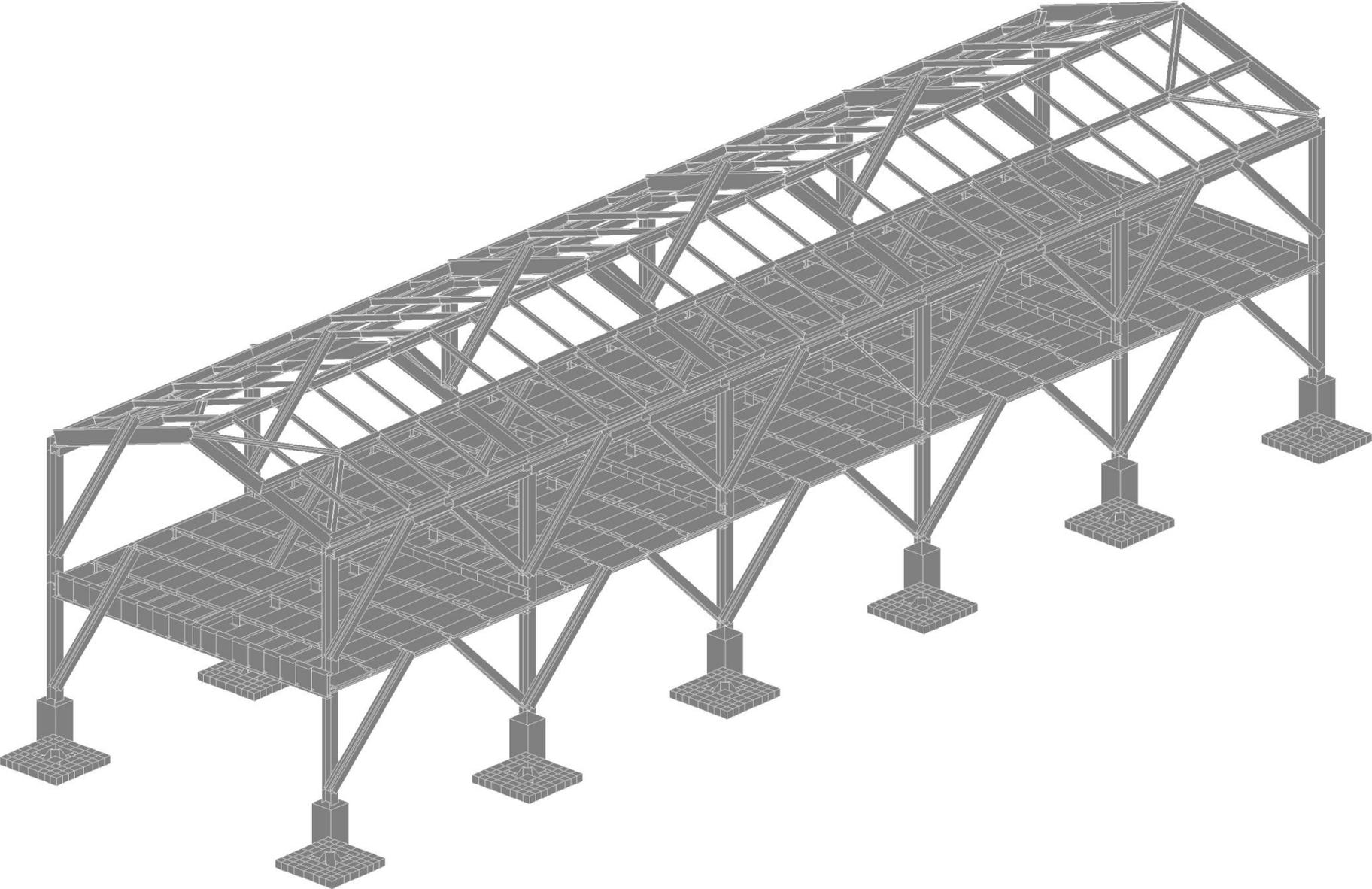
Учебный курс «*РМС в ККК*»  
включает в себя 30 часов лекций,  
30 часов аудиторных  
практических занятий, одну  
самостоятельную расчетно-  
графическую работу и зачет.

Лекции проводятся в компьютерном классе на 11 мест с сетевой учебной версией SCAD Office 21.1, с проектором и экраном.



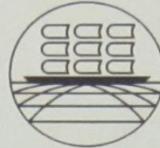
28/03/2016

Лекции проводятся в форме практической работы по созданию в среде SCAD расчетной модели некоторого сооружения, выбранного по одному из вариантов для самостоятельных работ.



Варианты заданий содержатся в специально разработанной методичке, которая имеется и в печатном, и в электронном видах.

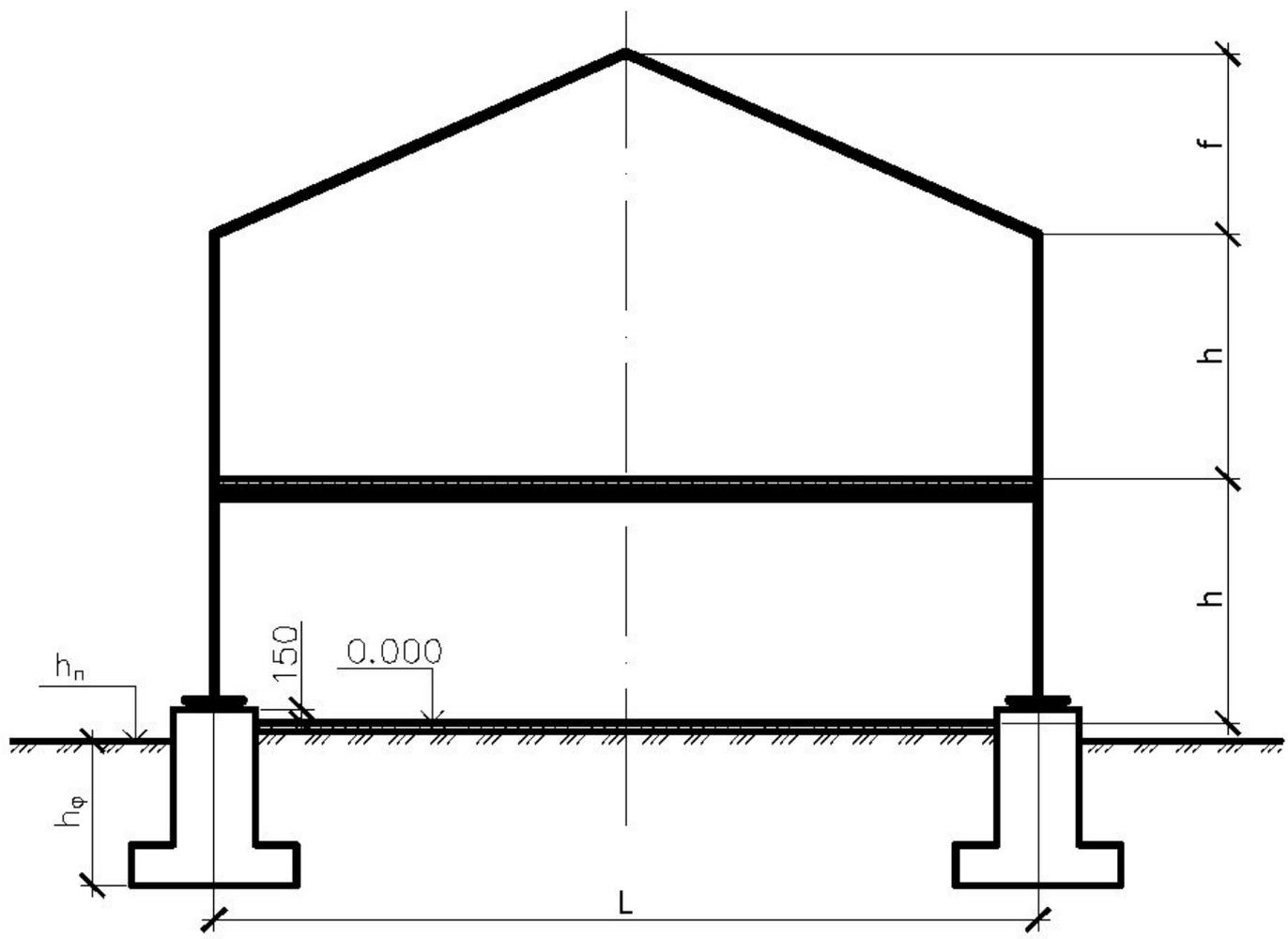
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
"МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"



**РАСЧЕТНЫЕ МОДЕЛИ СООРУЖЕНИЙ  
В КОНЕЧНОЭЛЕМЕНТНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ  
КОМПЛЕКСАХ (SCAD)**

*Задания к расчетно-графической работе  
и методические указания к ее выполнению  
для студентов направления 270100 "Строительство",  
специальности 270102.65  
"Промышленное и гражданское строительство"  
всех форм обучения*

Мурманск  
2011



***Рис 1***

<i>A</i>	<i>a</i> , м	<i>L</i> , м	<i>f</i> , м	<i>E</i> , Т/м <sup>2</sup>	<i>h<sub>ф</sub></i> , м	<i>B</i>	<i>n</i>	<i>h</i> , м	Климатич. район	<i>μ</i>
<b>0</b>	3	6	1,0	1000	1,2	<b>0</b>	6	3,0	Мурманск	0,10
<b>1</b>	4	7	1,2	1200	1,5	<b>1</b>	5	3,3	Ковдор	0,12
<b>2</b>	5	8	1,3	1500	1,8	<b>2</b>	4	3,6	Кола	0,15
<b>3</b>	6	9	1,5	1800	2,1	<b>3</b>	3	3,9	Апатиты	0,18
<b>4</b>	7	10	1,6	2000	2,4	<b>4</b>	4	4,2	Кировск	0,20
<b>5</b>	8	11	1,8	2100	2,7	<b>5</b>	3	4,5	Мурманск	0,21
<b>6</b>	9	12	2,0	2400	3,0	<b>6</b>	6	4,8	Печенга	0,24
<b>7</b>	10	13	2,1	2700	2,0	<b>7</b>	5	5,1	Полярный	0,11
<b>8</b>	11	14	2,4	3000	2,2	<b>8</b>	4	5,4	Мурманск	0,14
<b>9</b>	12	15	2,5	3200	2,5	<b>9</b>	3	5,7	Никель	0,16

<i>R<sub>0</sub></i> , Т/м <sup>2</sup>	<i>C</i>	Профлист	Тип местности	<i>h<sub>п</sub></i> , м	<i>p</i> , кг/м <sup>2</sup>
35	<b>0</b>	H57-750-0,6	A	-0.150	200
38	<b>1</b>	H57-750-0,7	B	-0.200	250
15	<b>2</b>	H57-750-0,8	C	-0.250	300
18	<b>3</b>	H60-845-0,6	A	-0.300	350
20	<b>4</b>	H60-845-0,7	B	-0.180	400
21	<b>5</b>	H60-845-0,8	C	-0.240	450
24	<b>6</b>	H75-750-0,7	A	-0.270	500
27	<b>7</b>	H75-750-0,8	B	-0.160	550
30	<b>8</b>	H75-750-0,9	C	-0.210	600
32	<b>9</b>	H75-750-0,8	A	-0.350	650

Преподаватель выполняет все действия по формированию расчетной модели на экране в режиме реального времени.

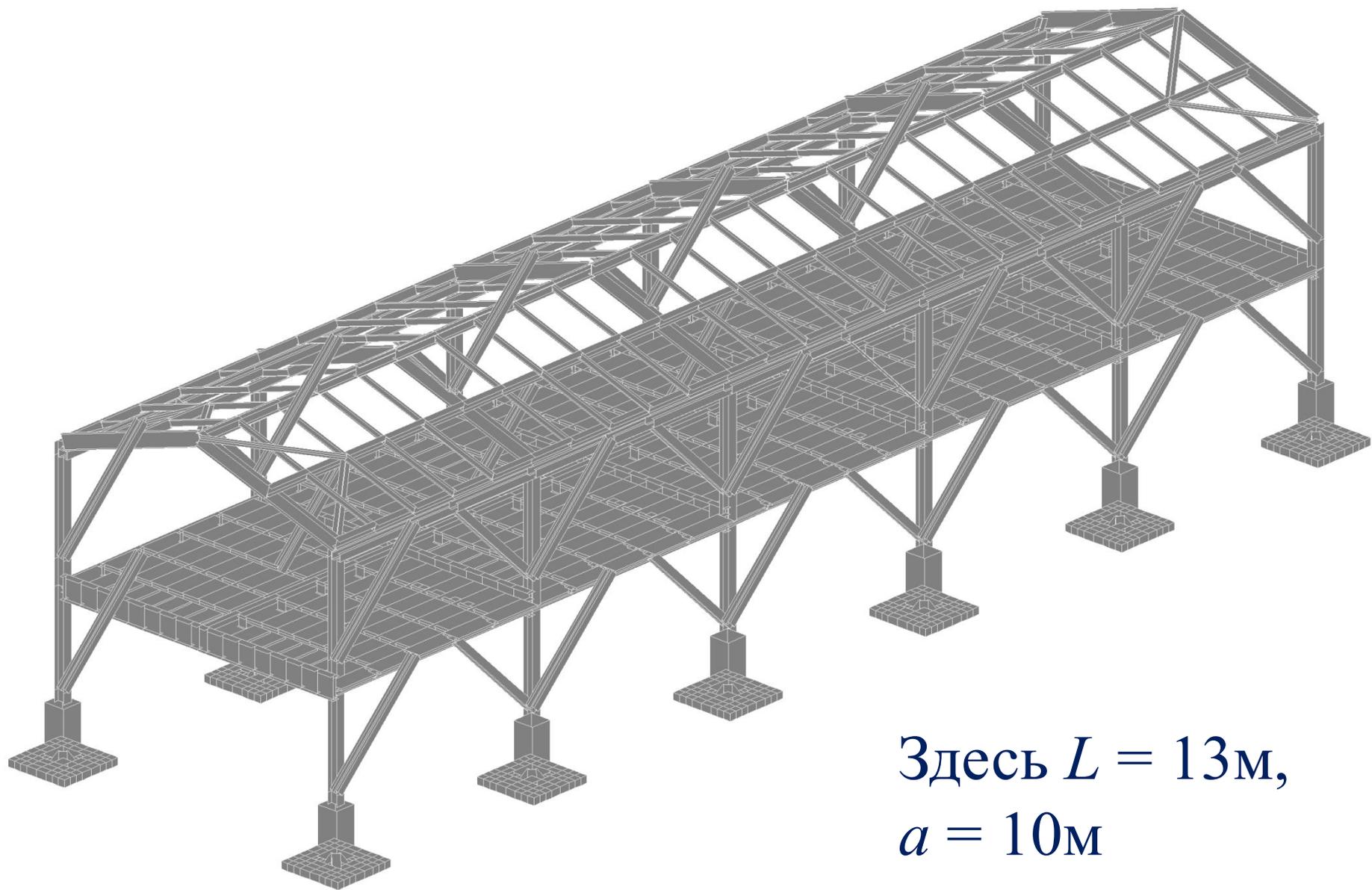
Студенты на своих рабочих местах повторяют эти действия.

Причем поскольку за компьютером их двое, то один повторяет, а второй имеет возможность записывать разъяснения преподавателя.



28/03/2016

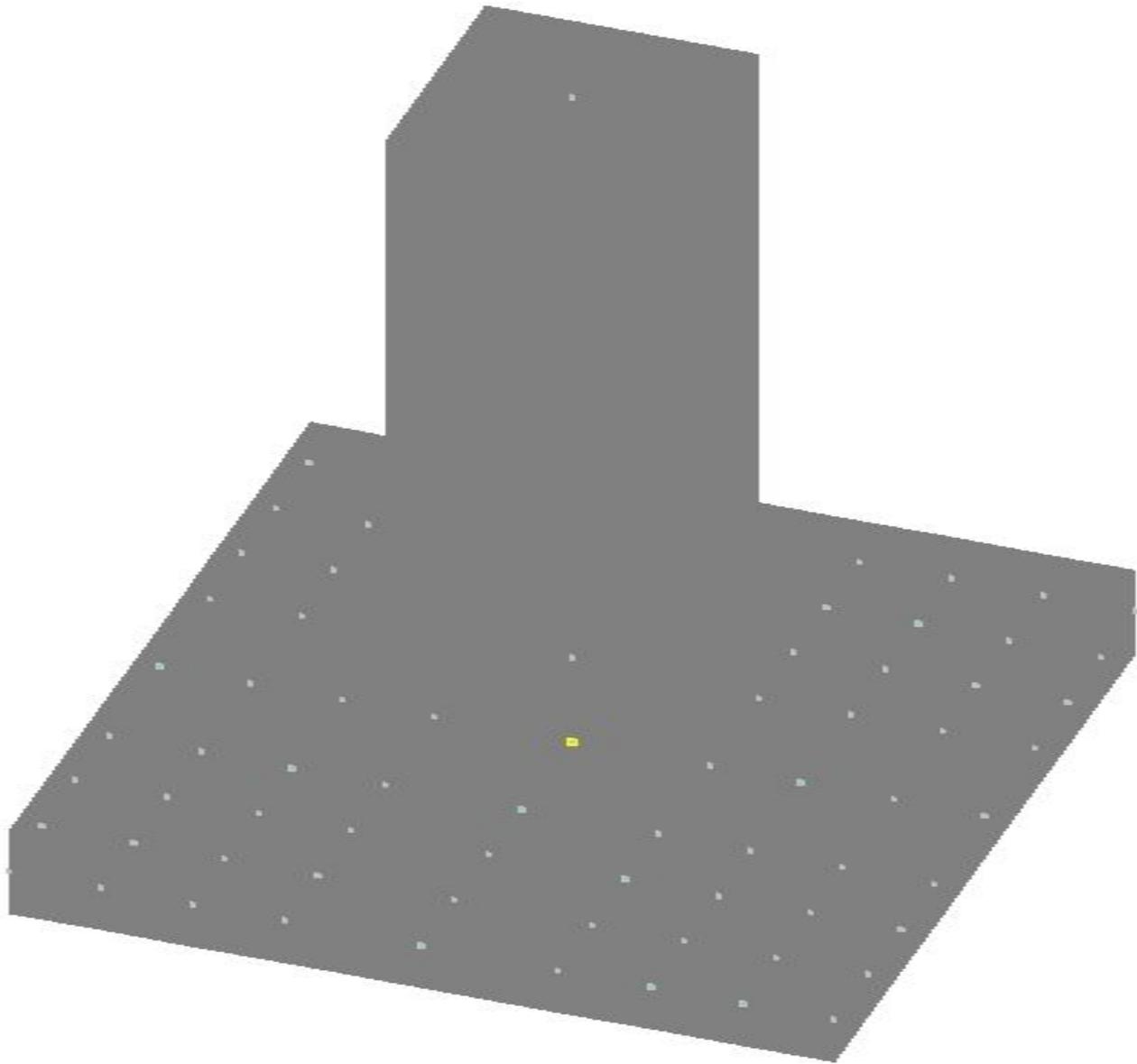
Для моделирования  
рассматривается двухэтажное  
здание с металлическим  
каркасом, железобетонным  
монолитным перекрытием,  
столбчатыми фундаментами на  
естественном основании.



Здесь  $L = 13\text{м}$ ,  
 $a = 10\text{м}$

На лекции реализуется примерно следующий порядок сборки расчетной модели.





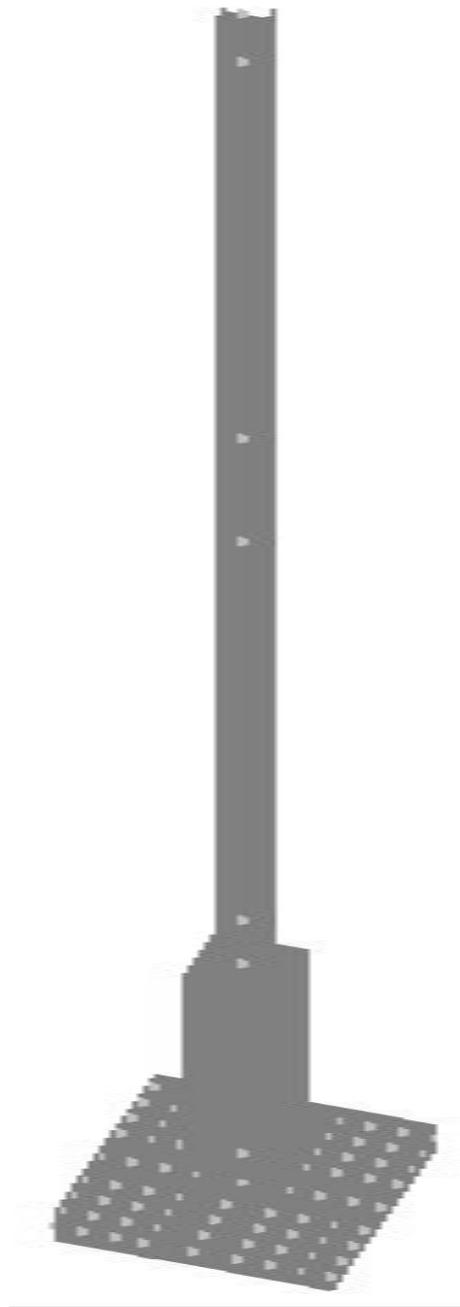
Опорная плита создается из  
пластинчатых конечных  
элементов на упругом основании.  
В центре ее устанавливаются две  
горизонтальные линейные связи  
и одна угловая относительно  
вертикальной оси.

Грунтовое основание упрощенно задается как однослойное модулем упругости, коэффициентом Пуассона и расчетным сопротивлением.

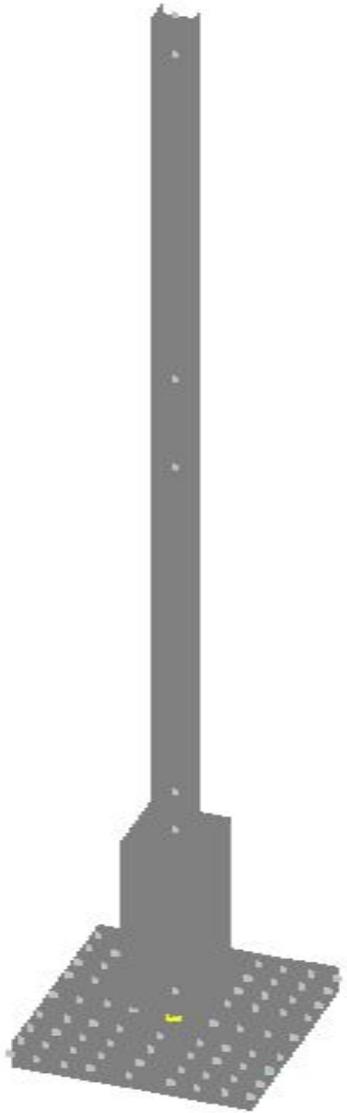
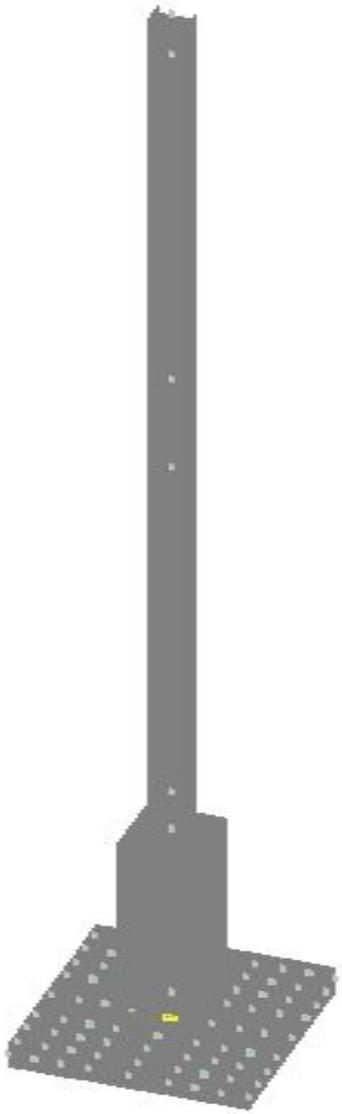
Подколонник моделируется  
стержневым конечным элементом.  
Область сопряжения подколонника с  
плитой во избежание концентрации  
напряжений формируется с  
помощью подкосов на толщину  
плиты и площадь сечения  
подколонника.



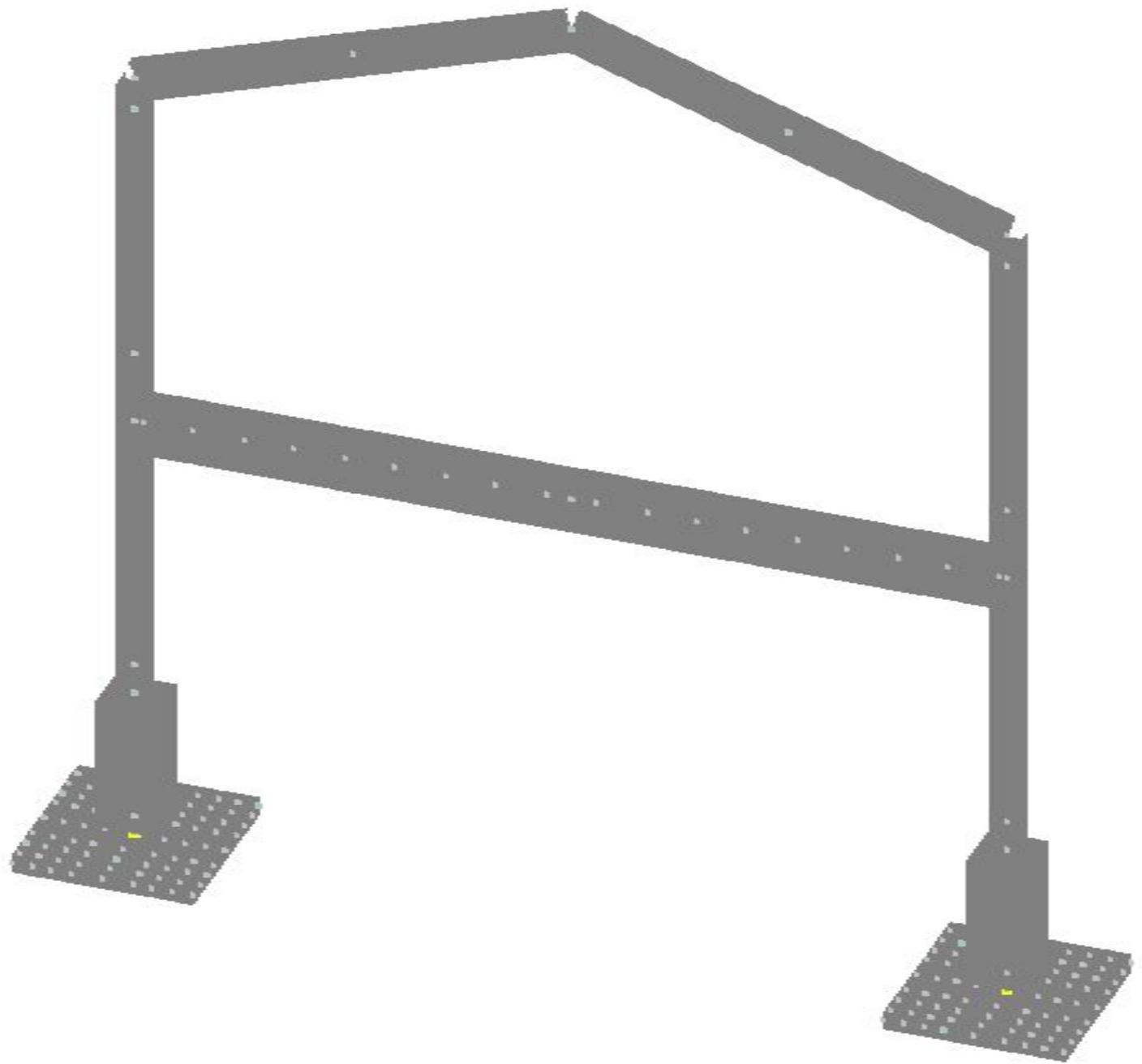
Далее на подколонник  
устанавливается колонна из  
колонного двутавра....



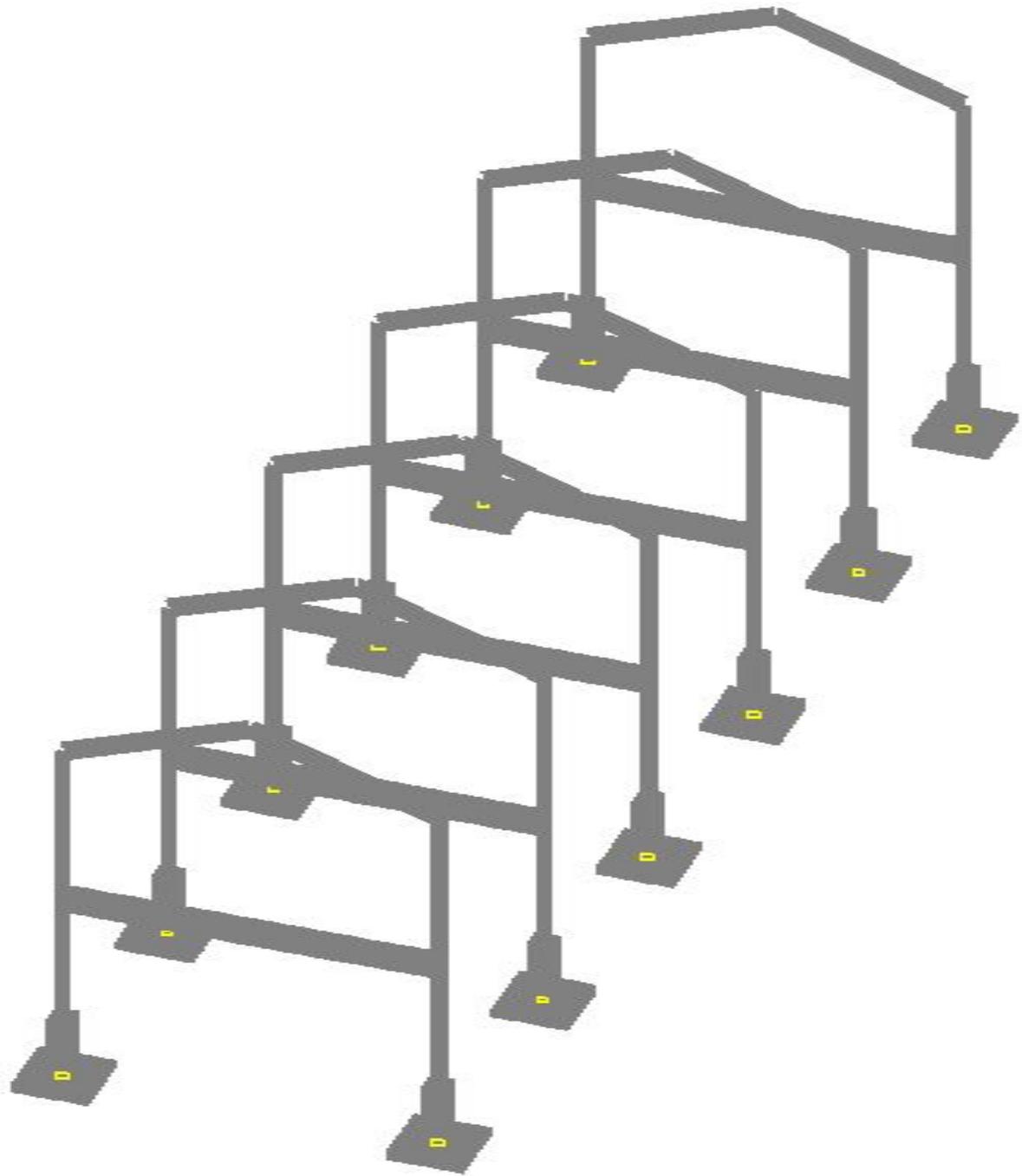
...и затем копируется на ширину пролета вместе с фундаментом.



Далее рама замыкается ригелями  
покрытия и перекрытия.

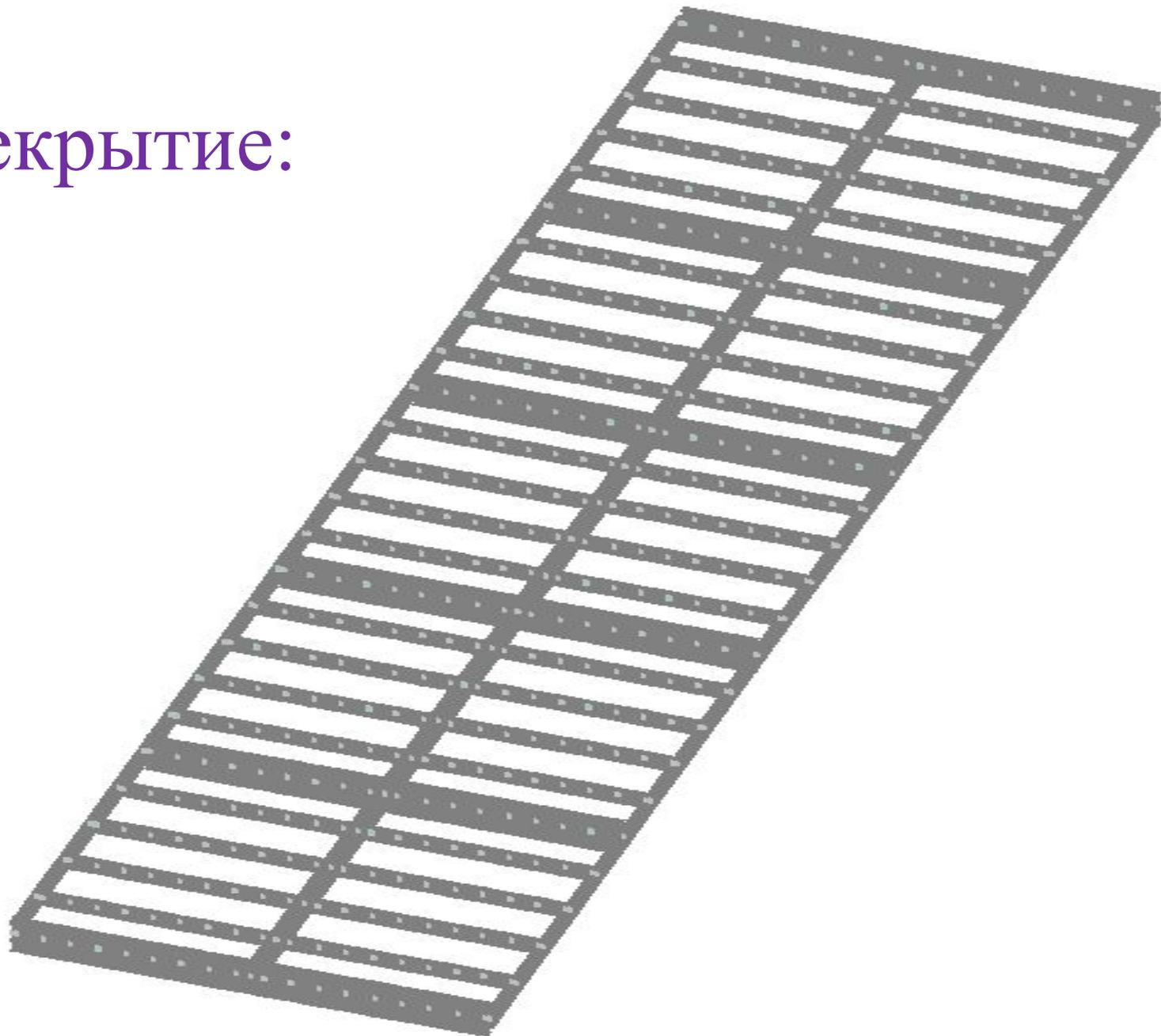


Затем рама копируется вдоль  
сооружения нужное количество  
раз.

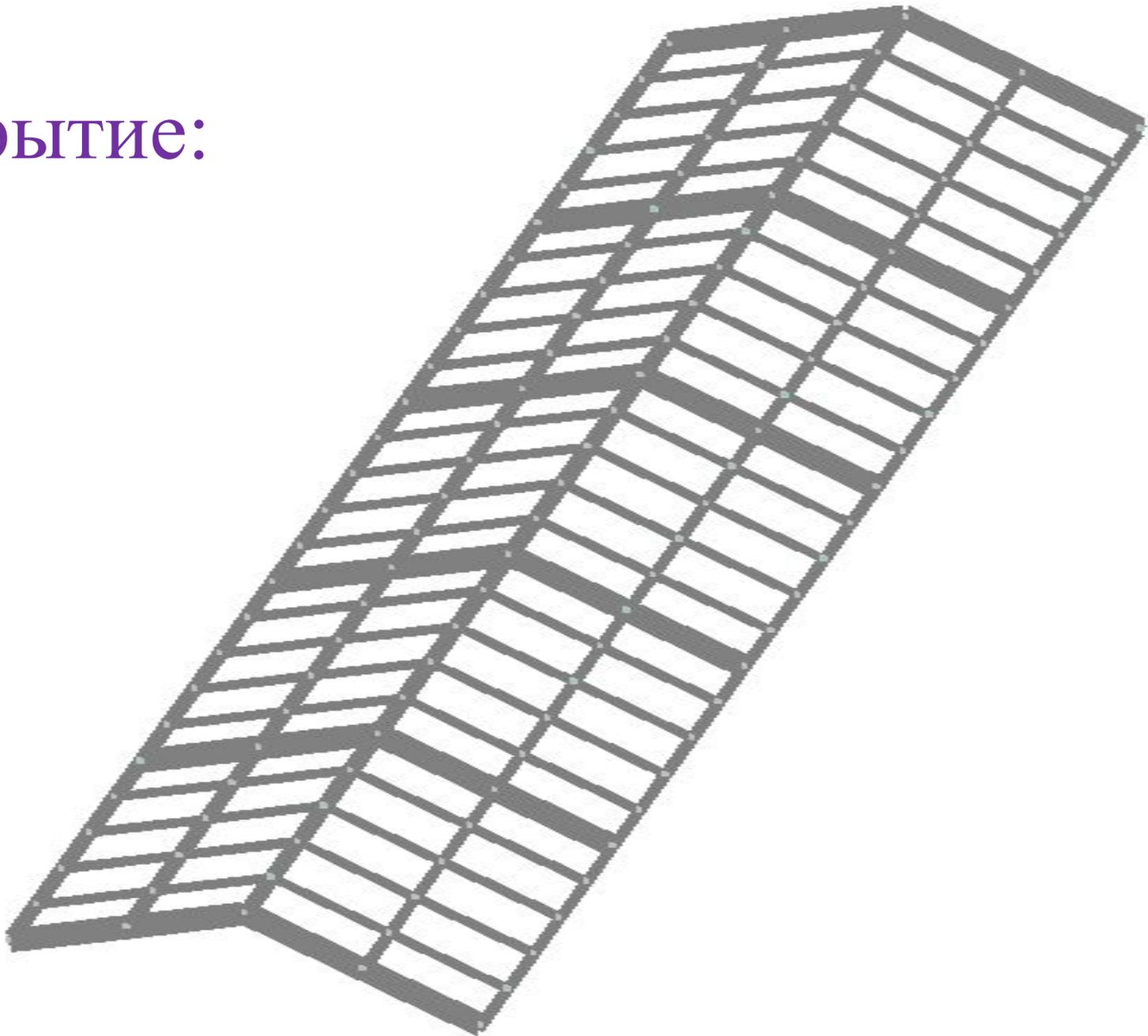


Далее создаются балочные сетки  
перекрытия и покрытия из  
прокатных двутавровых  
профилей.

Перекрытие:

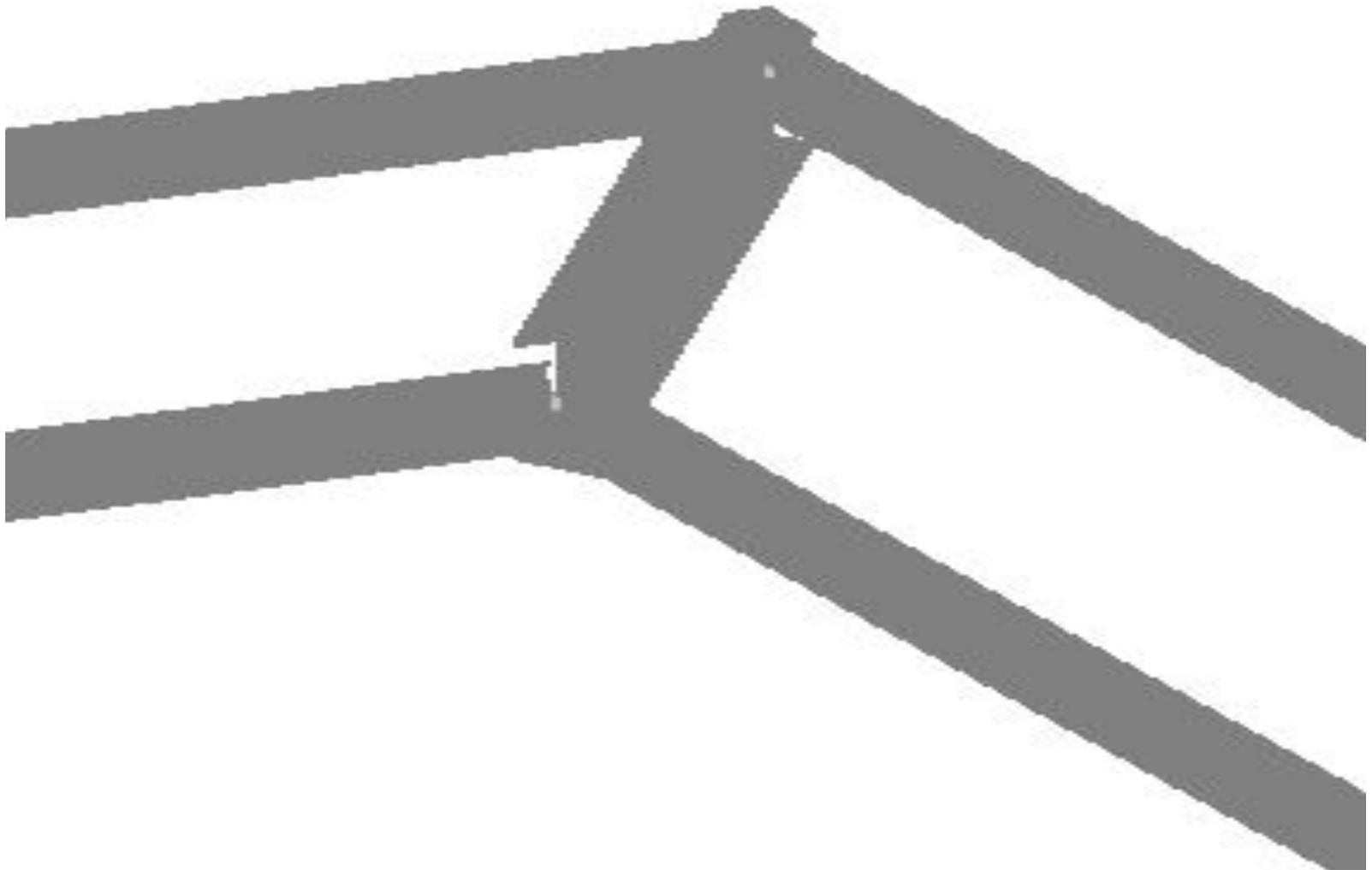


Покрытие:



Главная балка, проходящая по  
коньку покрытия, имеет  
нестандартное сечение и  
формируется в модуле  
«Конструктор сечений».

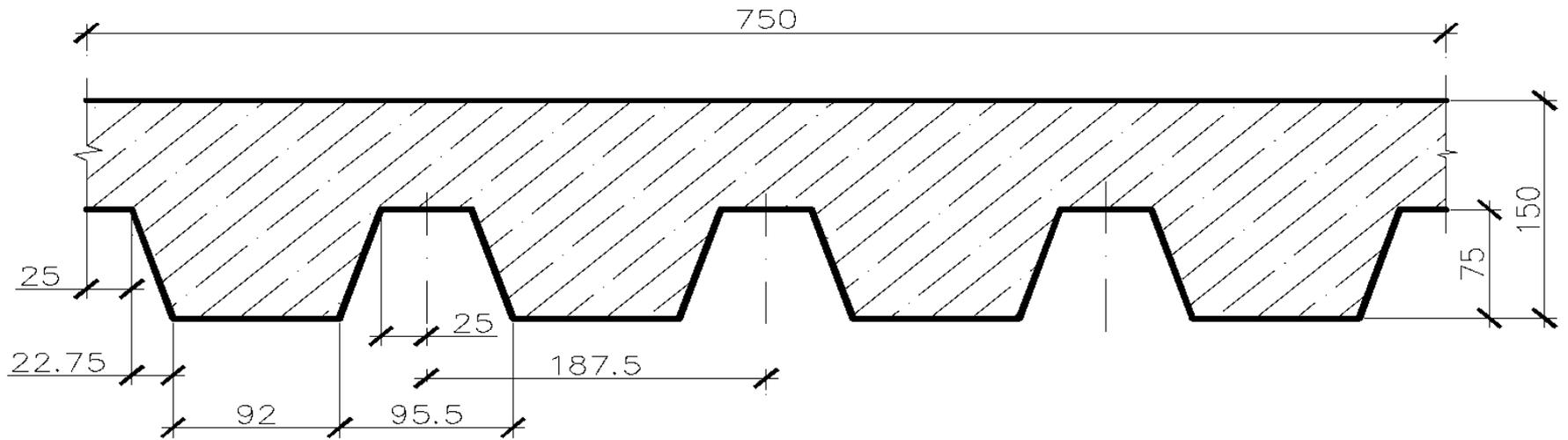
# Коньковая балка покрытия



Монолитная железобетонная  
плита перекрытия устраивается  
по металлическому профлисту  
как по несъемной опалубке.

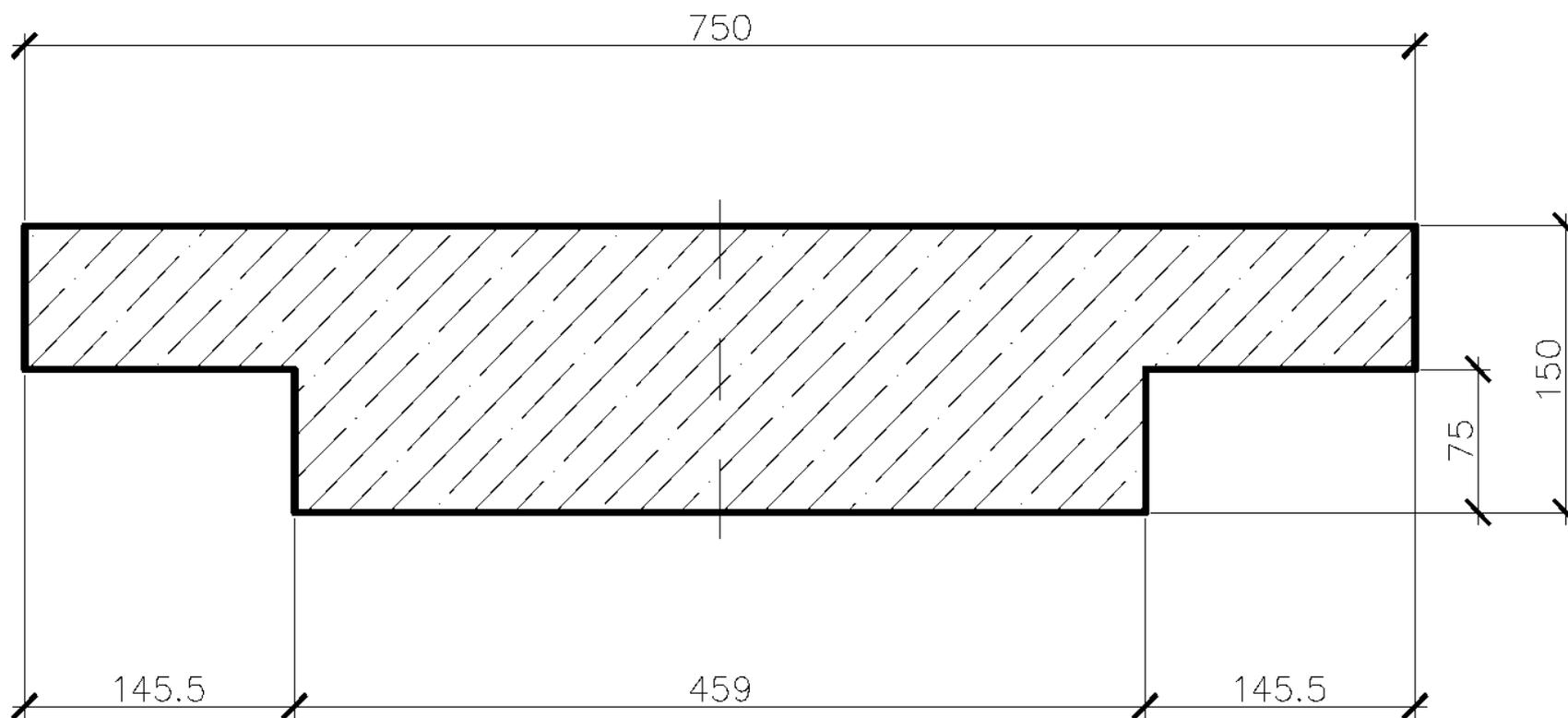
В разрезе она выглядит  
следующим образом:

# Железобетонная плита перекрытия по профлисту



В расчетной схеме она  
моделируется стержневым  
конечным элементом таврового  
сечения:

# Расчетное сечение стержневого элемента плиты перекрытия



Для обеспечения горизонтальной  
жесткости опорные шарниры  
устанавливаются только  
относительно горизонтальной  
оси:



Управление | Схема | Назначения | Узлы и Элементы | Загружения | Группы | Монтаж

**[Элемент № 1836] Условия примыкания стержней**

Освобождение линейных связей

<input type="checkbox"/> X	<input type="checkbox"/> X
<input type="checkbox"/> Y	<input type="checkbox"/> Y
<input type="checkbox"/> Z	<input type="checkbox"/> Z

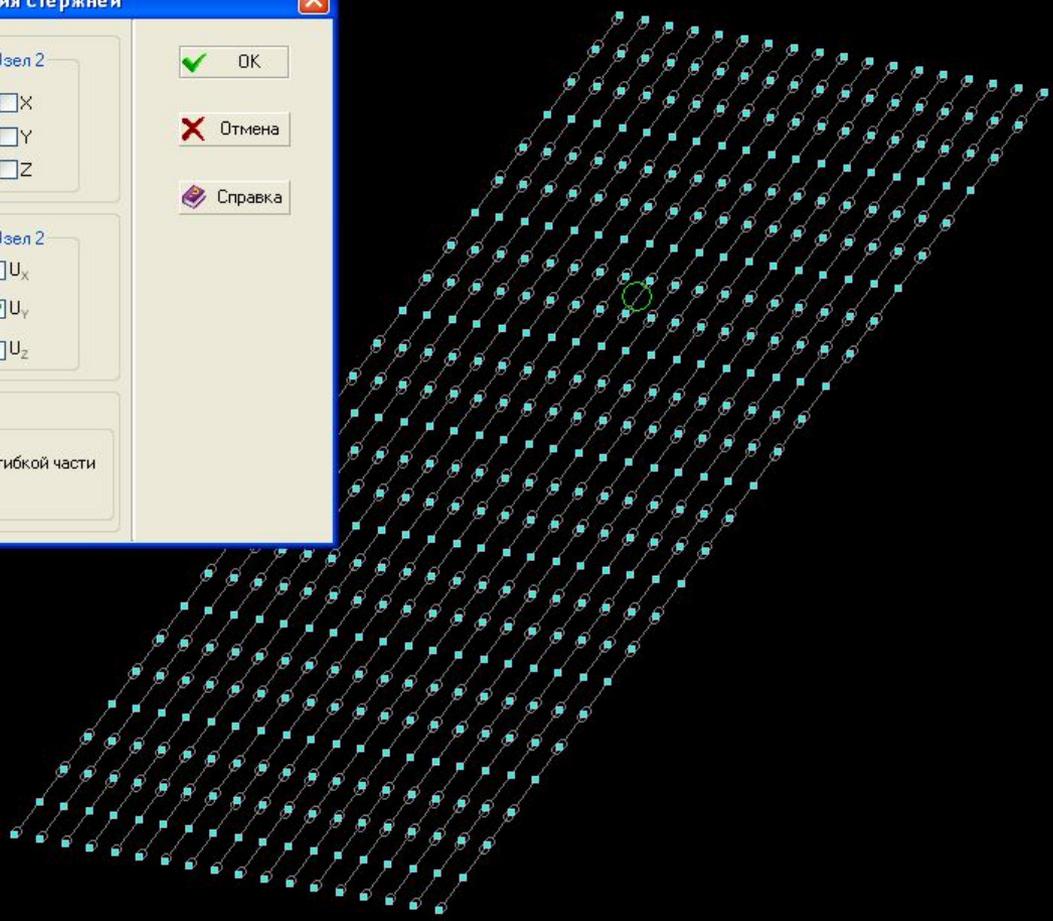
Освобождение угловых связей

<input checked="" type="checkbox"/> U <sub>x</sub>	<input type="checkbox"/> U <sub>x</sub>
<input checked="" type="checkbox"/> U <sub>y</sub>	<input checked="" type="checkbox"/> U <sub>y</sub>
<input type="checkbox"/> U <sub>z</sub>	<input type="checkbox"/> U <sub>z</sub>

Положение шарнира

<input checked="" type="radio"/> У перехода к гибкой части	<input checked="" type="radio"/> У перехода к гибкой части
<input type="radio"/> Возле узла	<input type="radio"/> Возле узла

OK, Отмена, Справка



**Информация об элементе**

Указание на схеме

Номер элемента: 1836

Нагрузки

Шарниры

Местные оси

Жесткие вставки

Коэффициенты постели

Преднапряжение

Заданное армирование

**Визуализация**

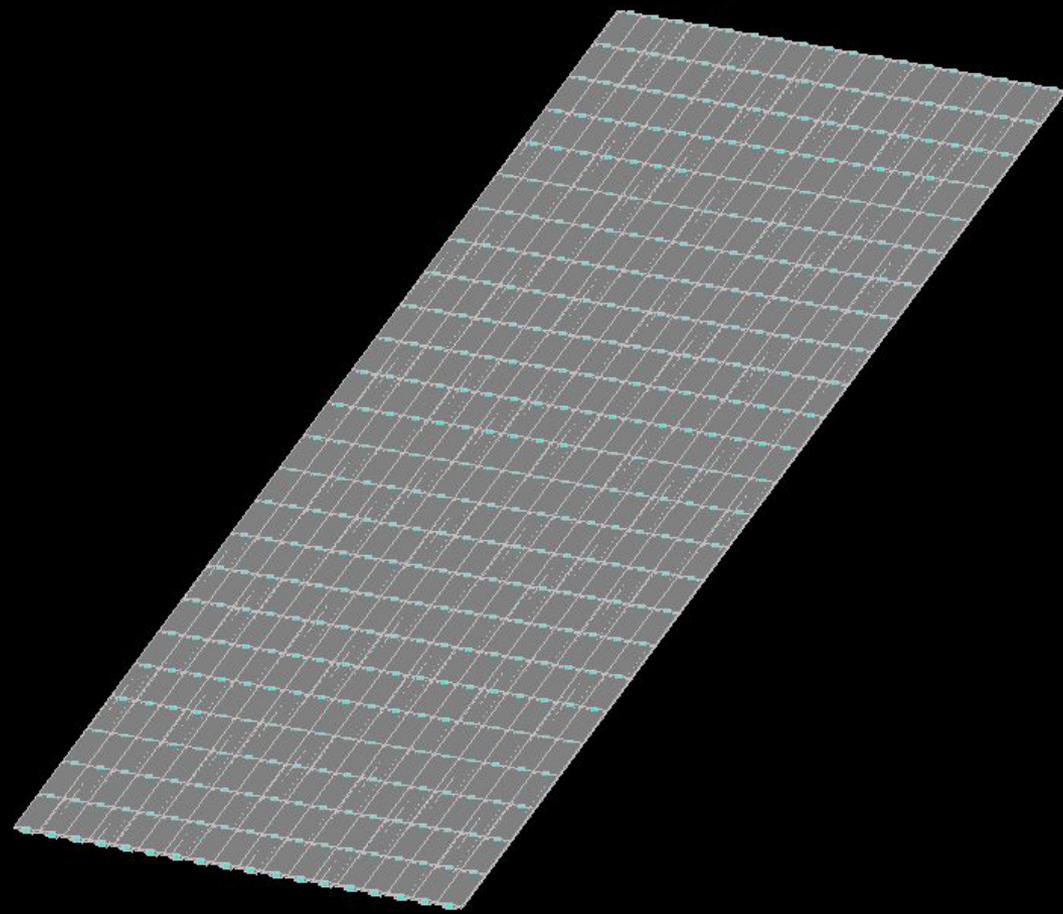
Grid of icons for various visualization and analysis tools.

PMC15



Управление | Схема | Назначения | Узлы и Элементы | Загрузки | Группы | Монтаж

**Фильтры отображения**



**Визуализация**

PMC15

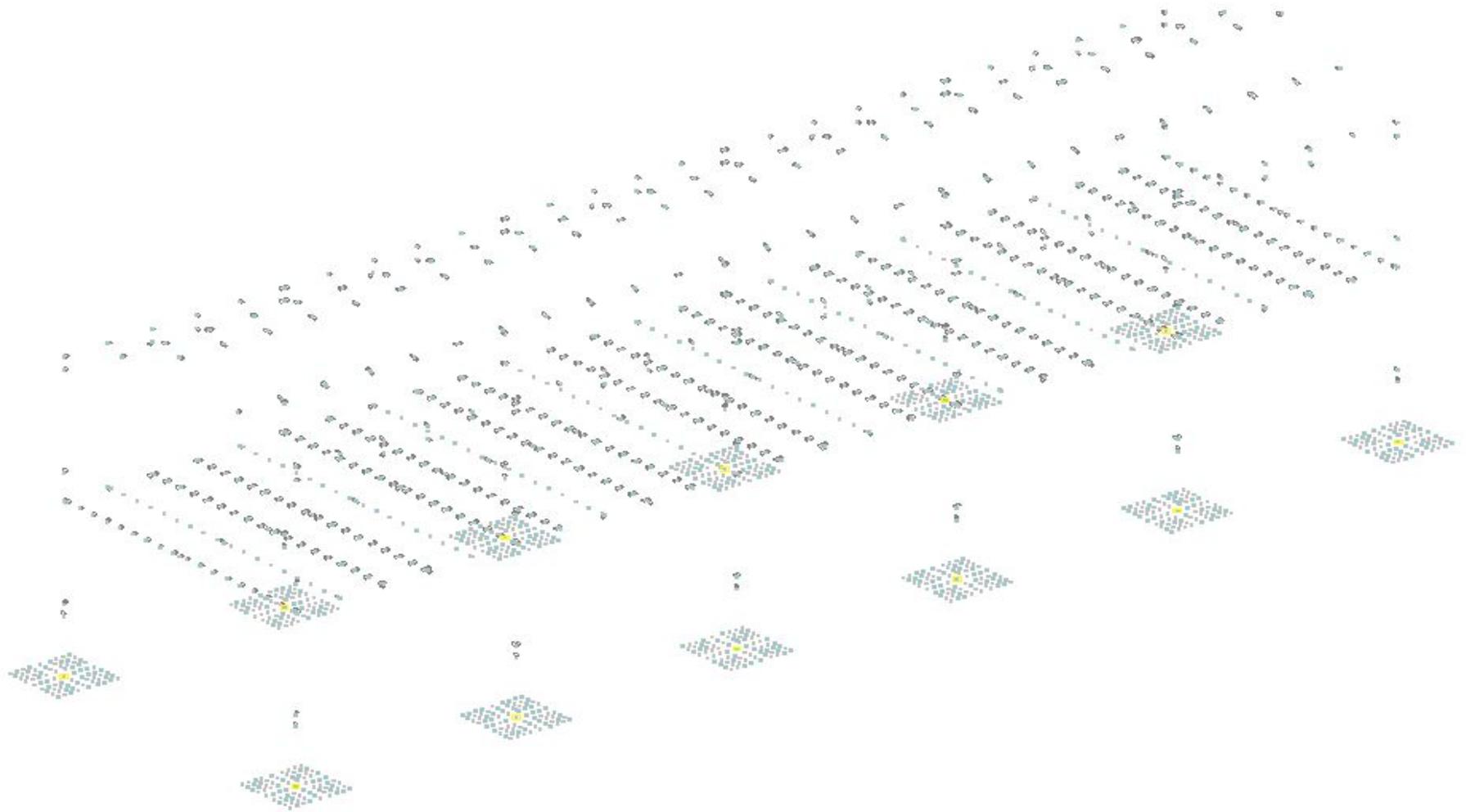


Узлов 1728(0) Элементов 2300(0)

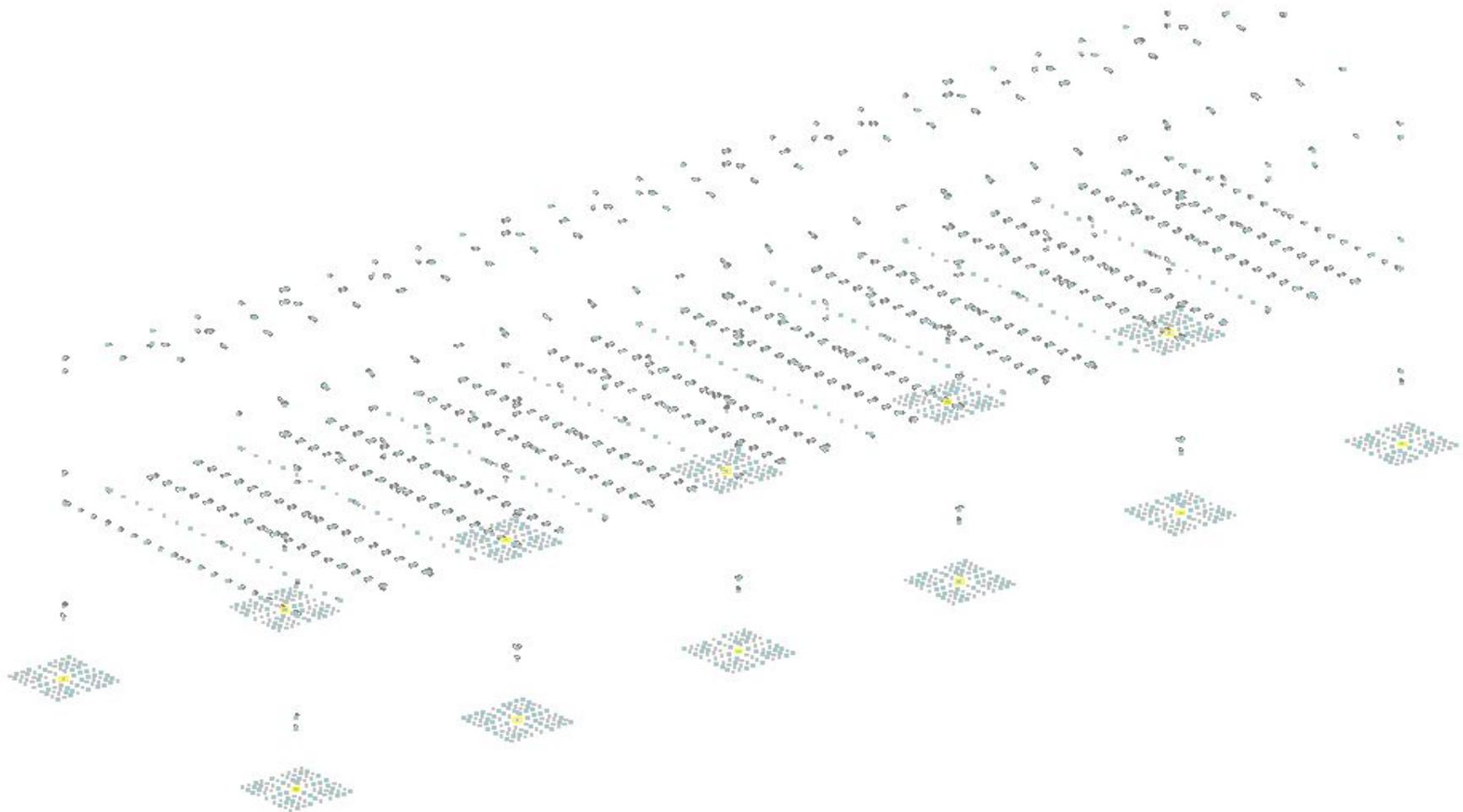
Сборка модели завершается  
установкой вертикальных связей  
в продольных стенах и ветровых  
связей в покрытии.

Затем формируются загрузки.

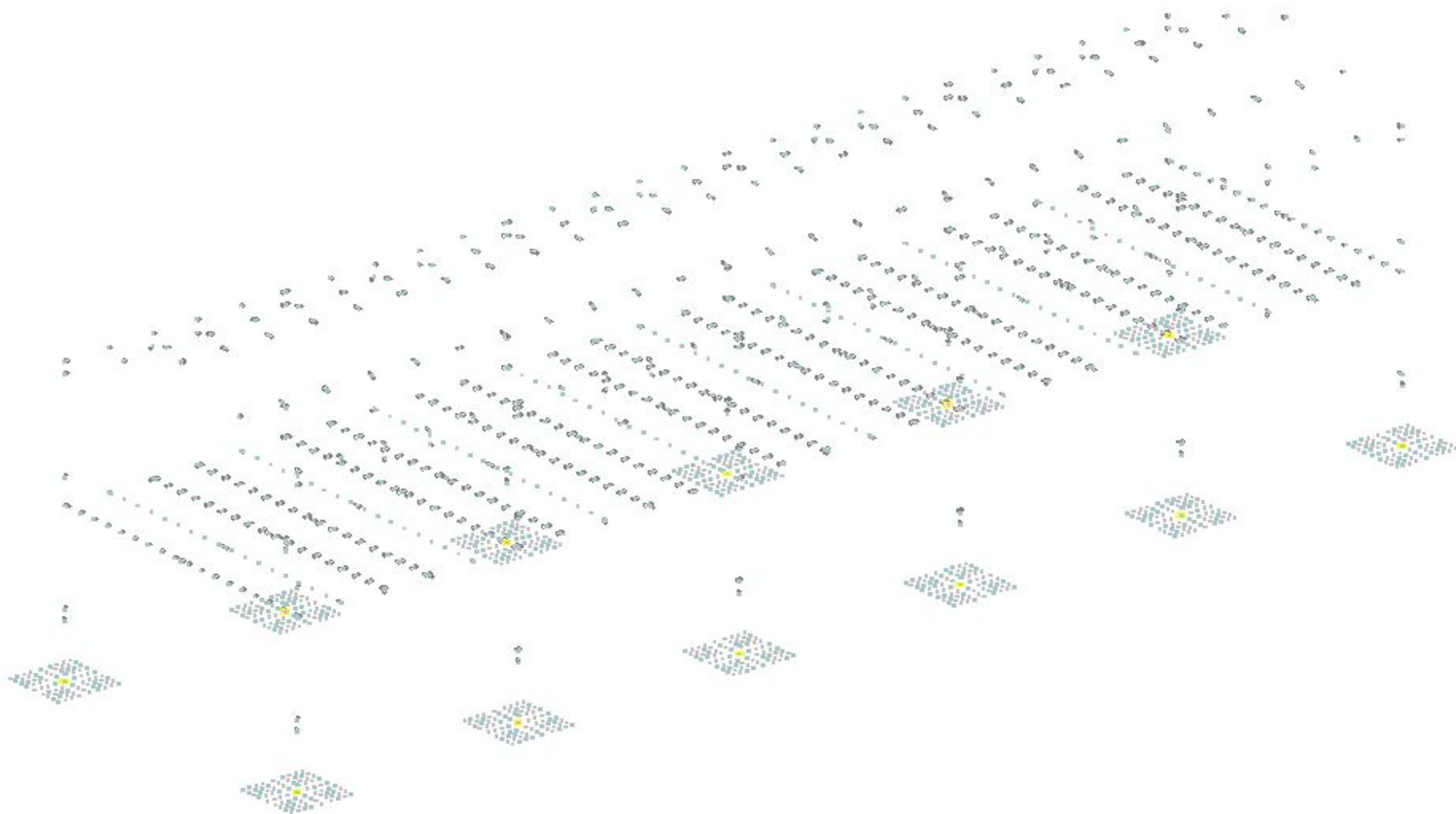
# -СОБСТВЕННЫЙ ВЕС



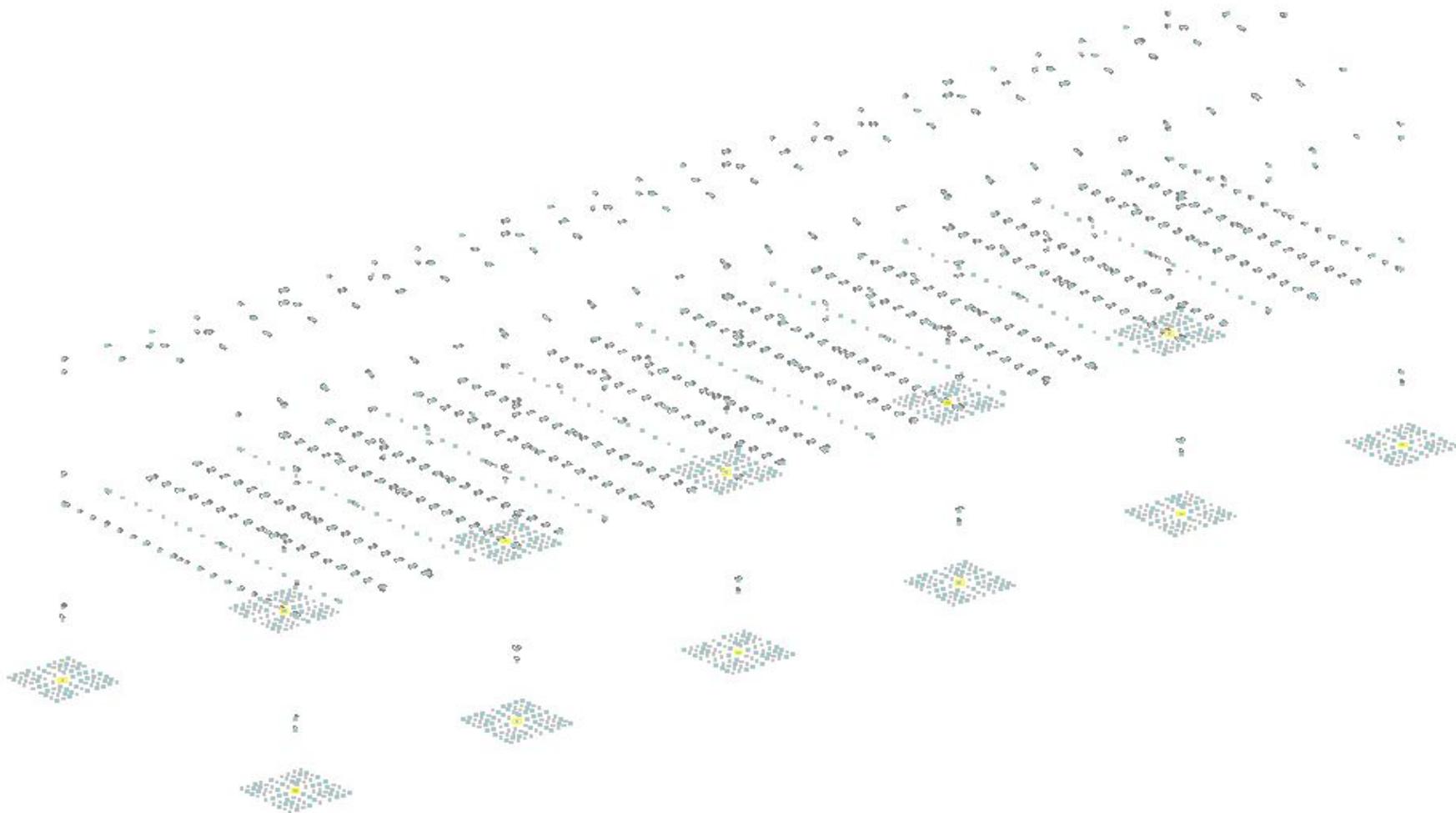
# -балластное загрузеение



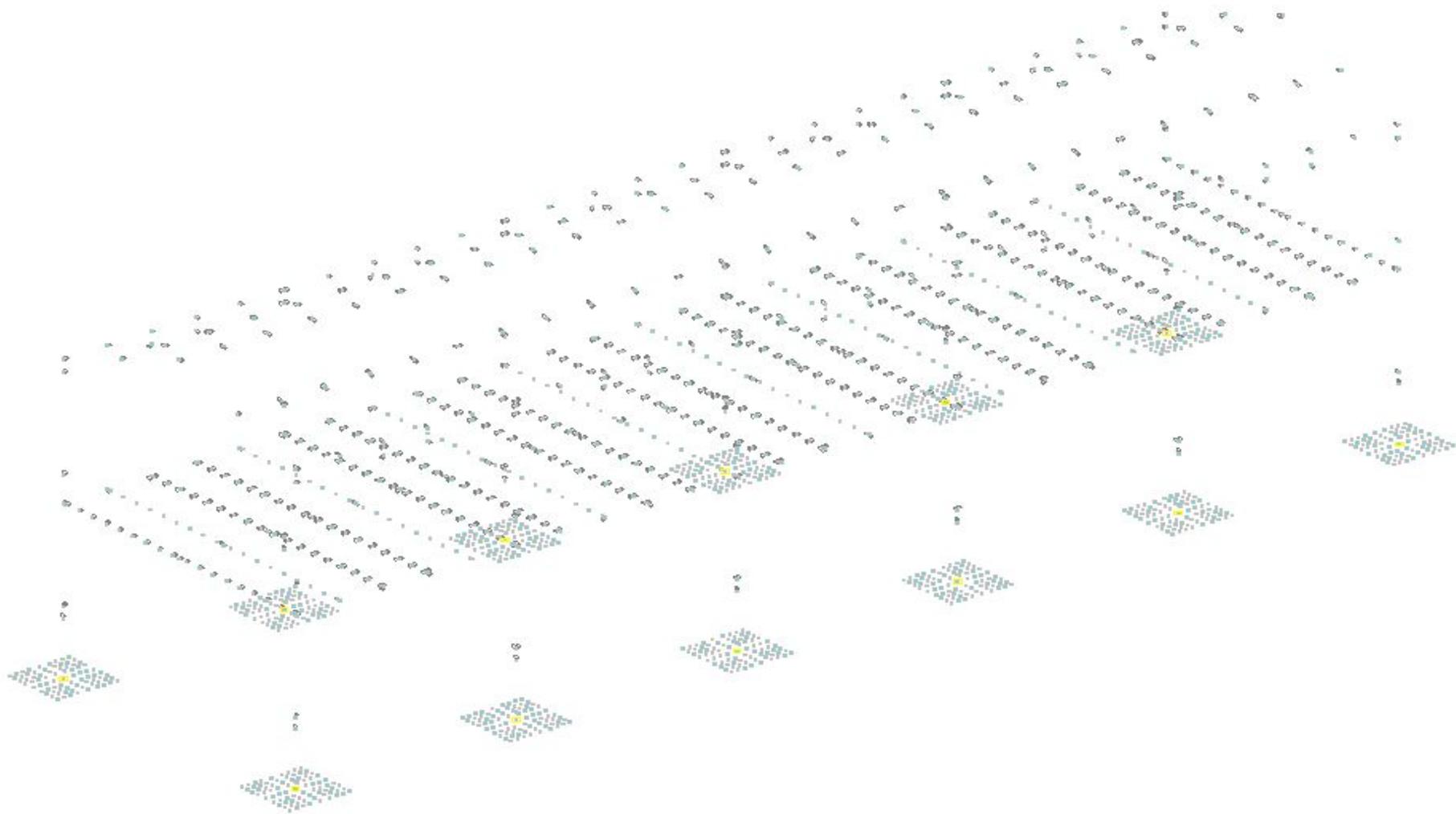
# - полезное загрузеение



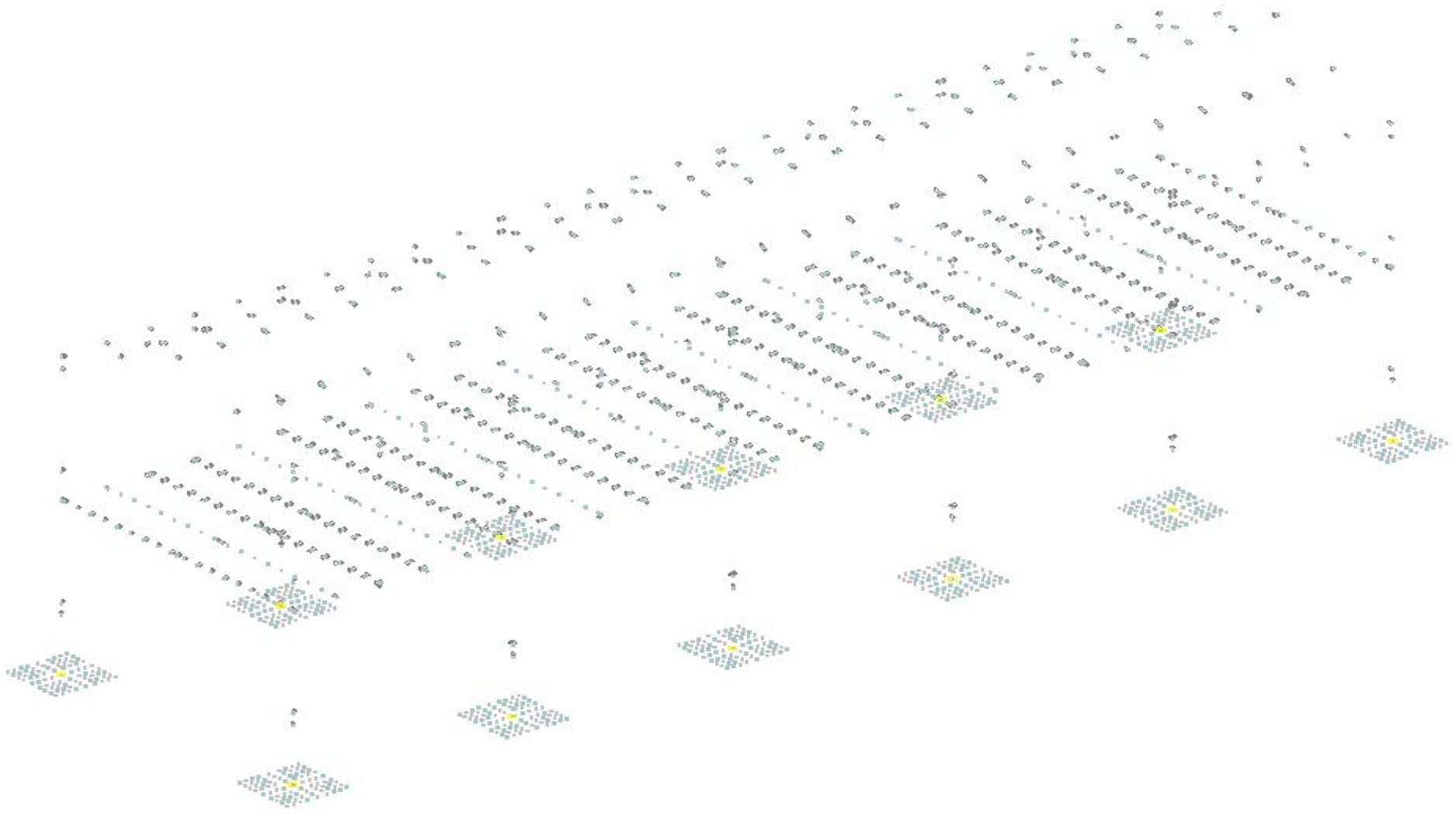
# - СНЕГОВОЕ ЗАГРУЖЕНИЕ



- ветер слева



# - ветер анфас



# Затем формируются комбинации загрузений

Имена загрузений	
Номер	Наименование
1	Вес нормативный
2	Балластное расчетное
3	Полезное расчетное
4	Снег расчетный
5	Ветер слева
6	Ветер анфас

Комбинации загрузений	
Номер	Формула
1	$(L1)*1.15+(L2)*1$
2	$(L1)*1.15+(L2)*1+(L3)*1$
3	$(L1)*1.15+(L2)*1+(L3)*1+(L4)*1$
4	$(L1)*1.15+(L2)*1+(L3)*1+(L5)*1$
5	$(L1)*1.15+(L2)*1+(L3)*1+(L6)*1$
6	$(L1)*1.15+(L2)*1+(L3)*1+(L4)*1+(L5)*0.9$
7	$(L1)*1.15+(L2)*1+(L3)*1+(L4)*1+(L6)*0.9$

и выполняется линейный расчет.  
 По результатам расчета  
 принимаются меры для обеспечения  
 общей устойчивости сооружения.

<b>Коэффициенты запаса устойчивости от комбинаций</b>		
<b>Номер</b>	<b>Наименование загрузки/комбинации</b>	<b>Значение</b>
1	$(L1)*1.15+(L2)*1$	Коэффициент запаса > 2
2	$(L1)*1.15+(L2)*1+(L3)*1$	Коэффициент запаса > 2
3	$(L1)*1.15+(L2)*1+(L3)*1+(L4)*1$	Коэффициент запаса > 2
4	$(L1)*1.15+(L2)*1+(L3)*1+(L5)*1$	Коэффициент запаса > 2
5	$(L1)*1.15+(L2)*1+(L3)*1+(L6)*1$	Коэффициент запаса > 2
6	$(L1)*1.15+(L2)*1+(L3)*1+(L4)*1+(L5)*0.9$	Коэффициент запаса > 2
7	$(L1)*1.15+(L2)*1+(L3)*1+(L4)*1+(L6)*0.9$	Коэффициент запаса > 2

Верхняя граница поиска - 2

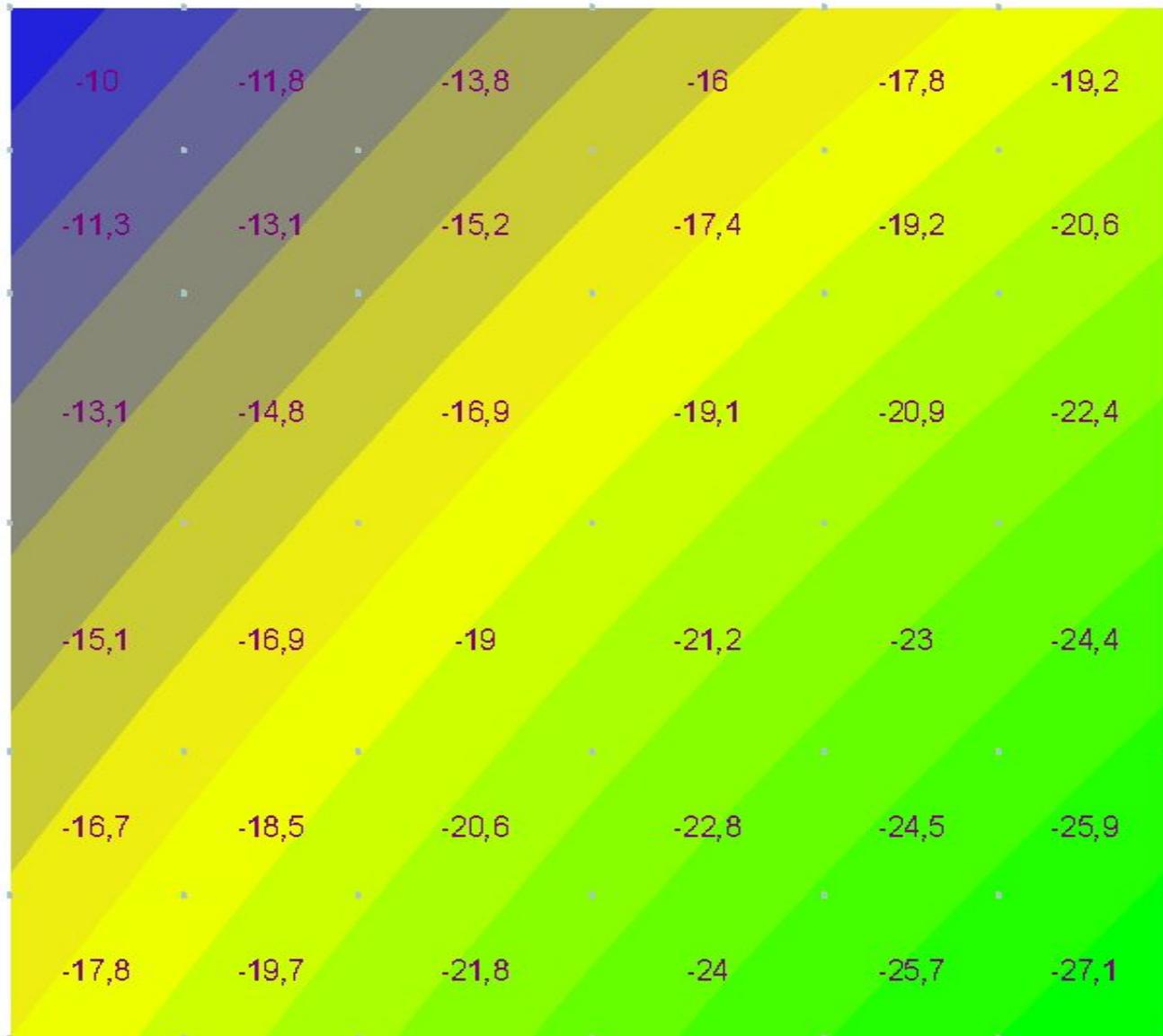
Далее в постпроцессорах  
выполняется подбор сечений  
металлических элементов,  
подбор арматуры для  
железобетонных конструкций.  
Результаты расчета отражаются в  
пояснительной записке.



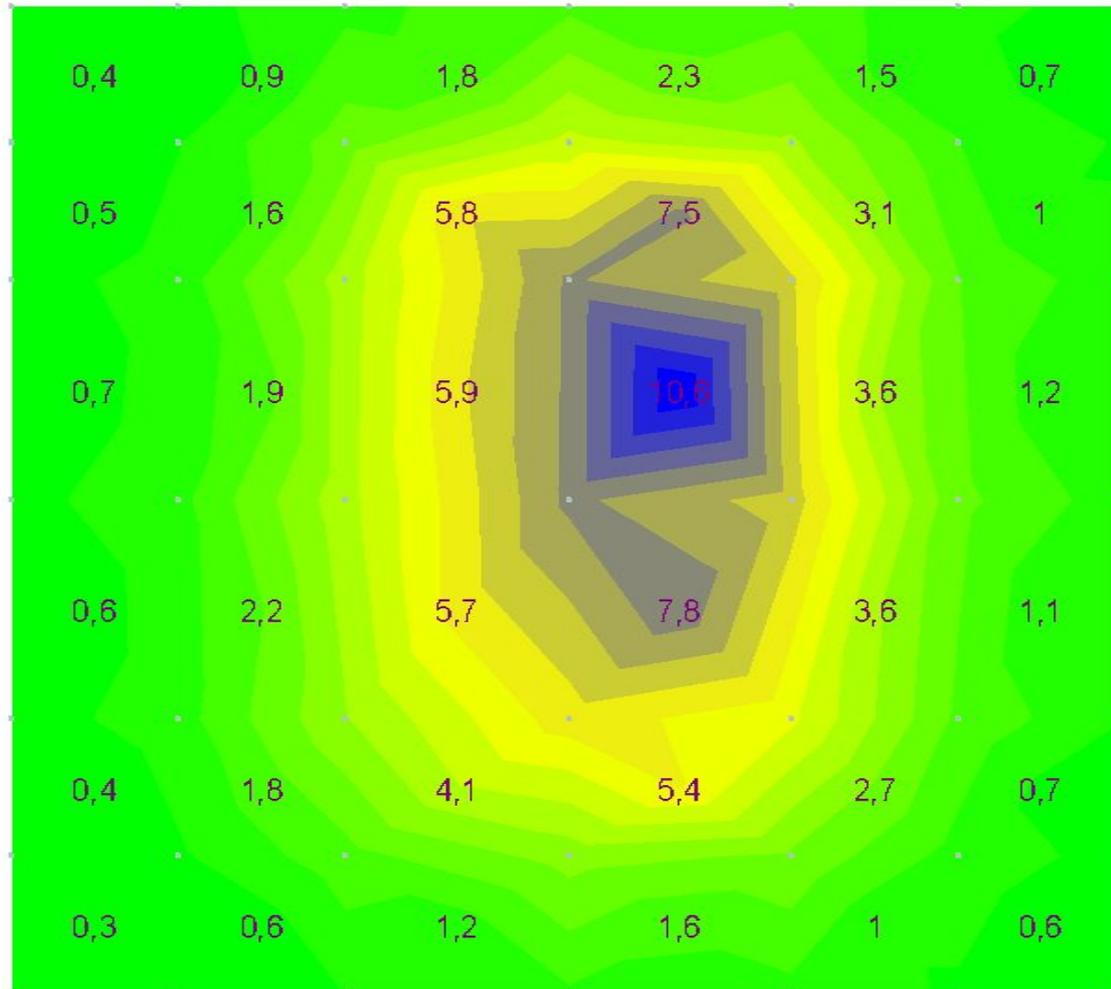
# Коэффициенты использования сечений металлических элементов

0,3	0,24	0,19	0,23	0,33	0,44	0,54	0,63	0,66	0,49
0,27	0,51	0,69	0,78	0,78	0,78	0,69	0,51	0,28	0,7
0,21	0,43	0,61	0,7	0,7	0,7	0,6	0,41	0,19	0,73
0,27	0,5	0,68	0,78	0,78	0,78	0,7	0,51	0,28	0,73
0,25	0,47	0,66	0,75	0,75	0,75	0,66	0,48	0,25	0,49
0,31	0,24	0,19	0,22	0,32	0,43	0,53	0,62	0,66	0,34

# Давление фундамента на грунт

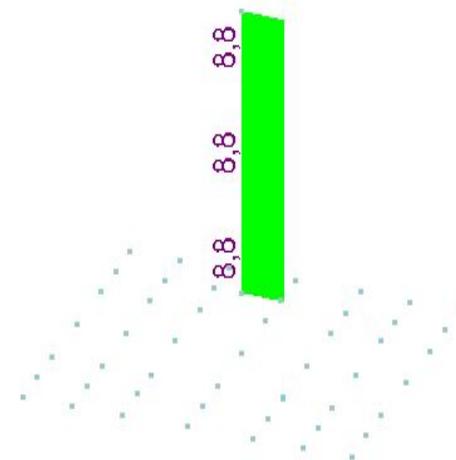
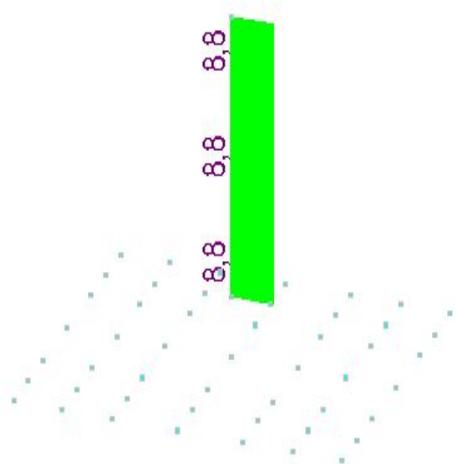


## Арматура в опорной плите фундамента



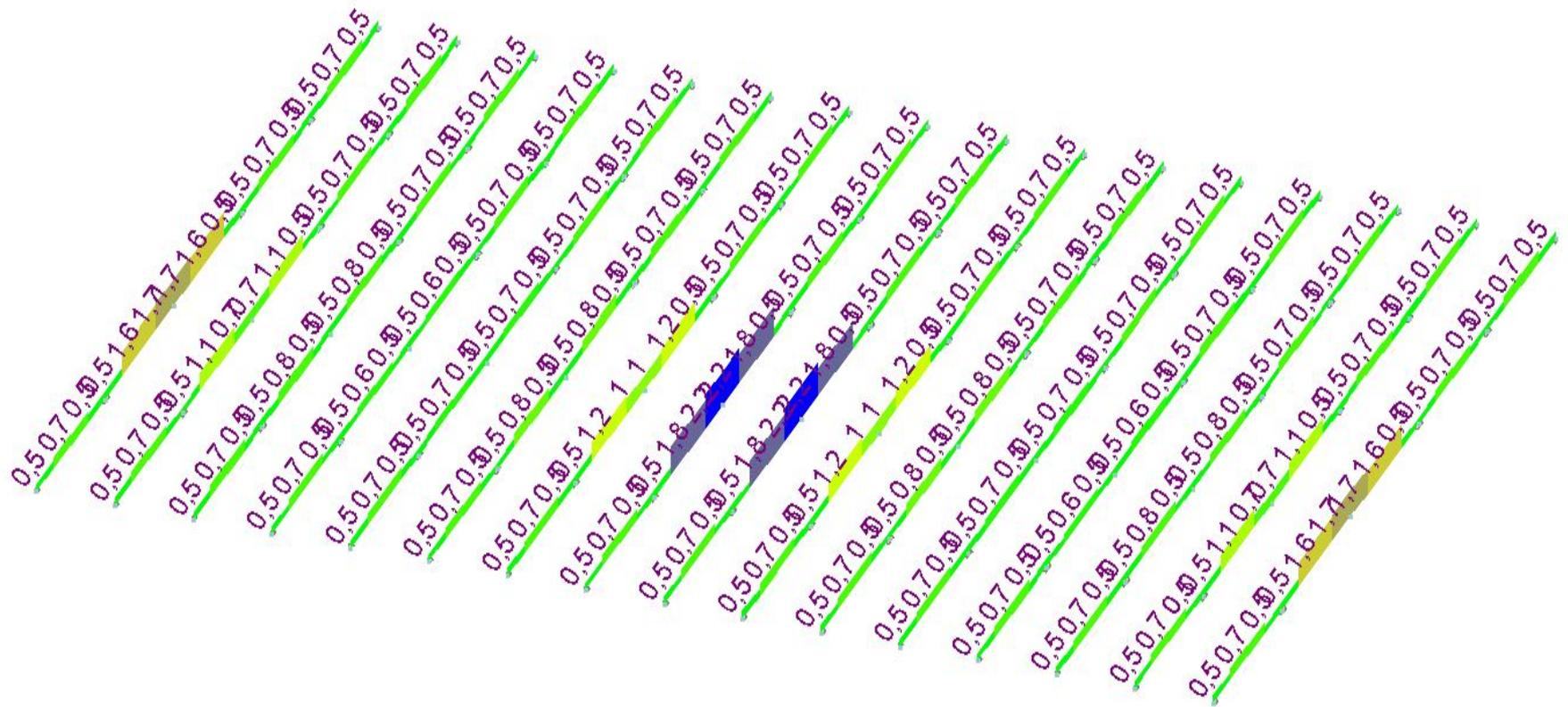
Требуемый максимум:  $10,60 \text{ см}^2 / \text{п.м.}$  18-А400, шаг 200 =  $12,72 \text{ см}^2 / \text{п.м.}$

## Арматура в подколонниках



Требуемый максимум:  $8,80 \text{ см}^2$ . Принимаем  $4\emptyset$   
 $8\text{-A}400 = 10,18 \text{ см}^2$

# Арматура в железобетонных элементах перекрытия нижняя продольная



Требуемый максимум:  $2,10 \text{ см}^2$ . Принимаем  $4\text{Ø}10\text{-A}400 = 3,14 \text{ см}^2$ , т.е.  $1\text{Ø} 0\text{-A}400$  в каждом гофре.

# Деформативность элементов

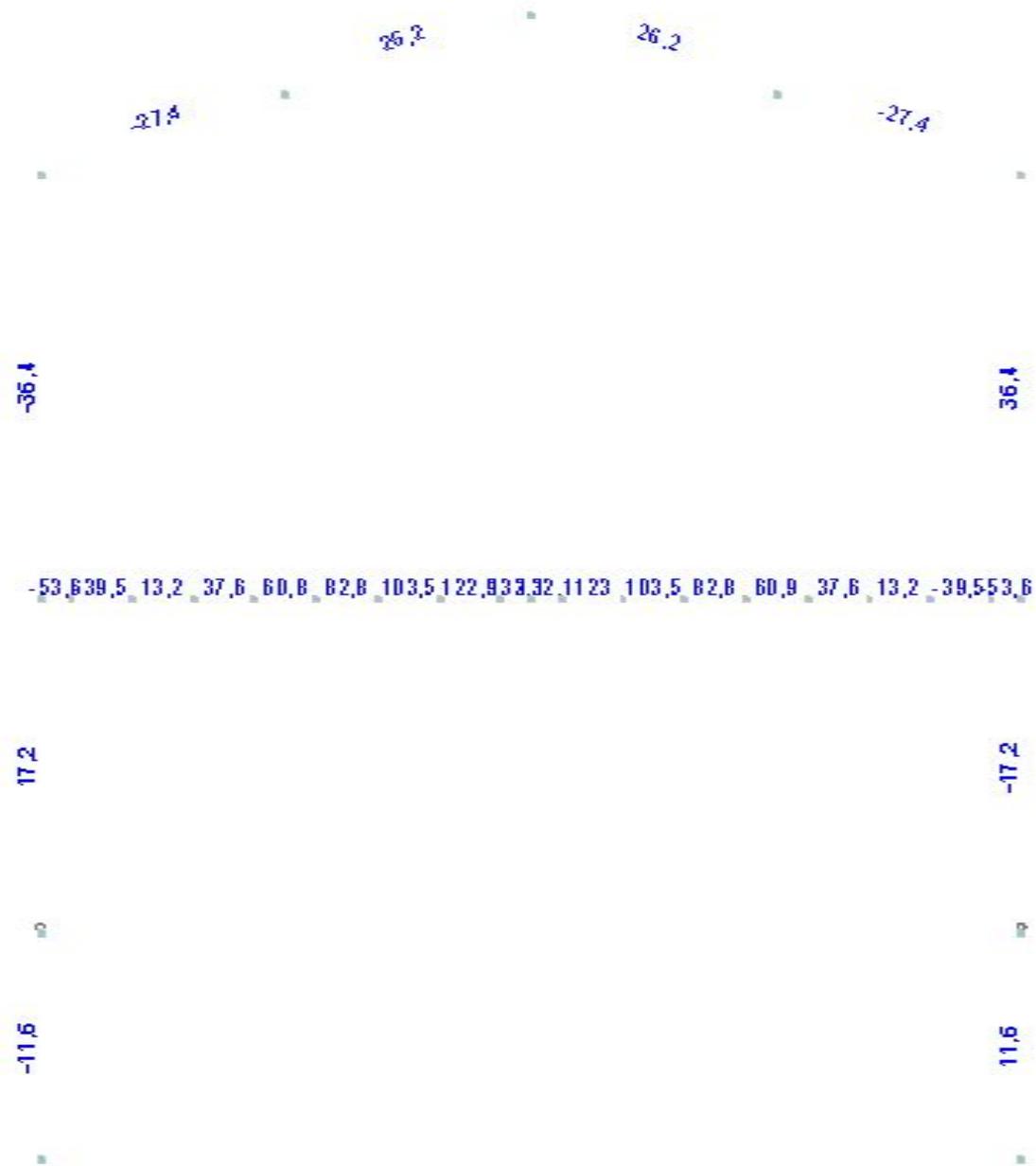
-22	-35	-42	-42	-35	-22
-22	-38	-45	-45	-38	-22
-21	-44	-49	-51	-44	-21
-20	-48	-53	-55	-47	-20
-18	-49	-53	-56	-48	-18
-16	-47	-51	-54	-46	-16
-13	-41	-46	-48	-41	-14
-11	-33	-38	-40	-33	-11
-8	-23	-28	-29	-23	-9
-7	-17	-23	-23	-17	-7

Относительный прогиб ригеля:  $\frac{22 - 7}{12000} = \frac{1}{800} \ll \frac{1}{200}$

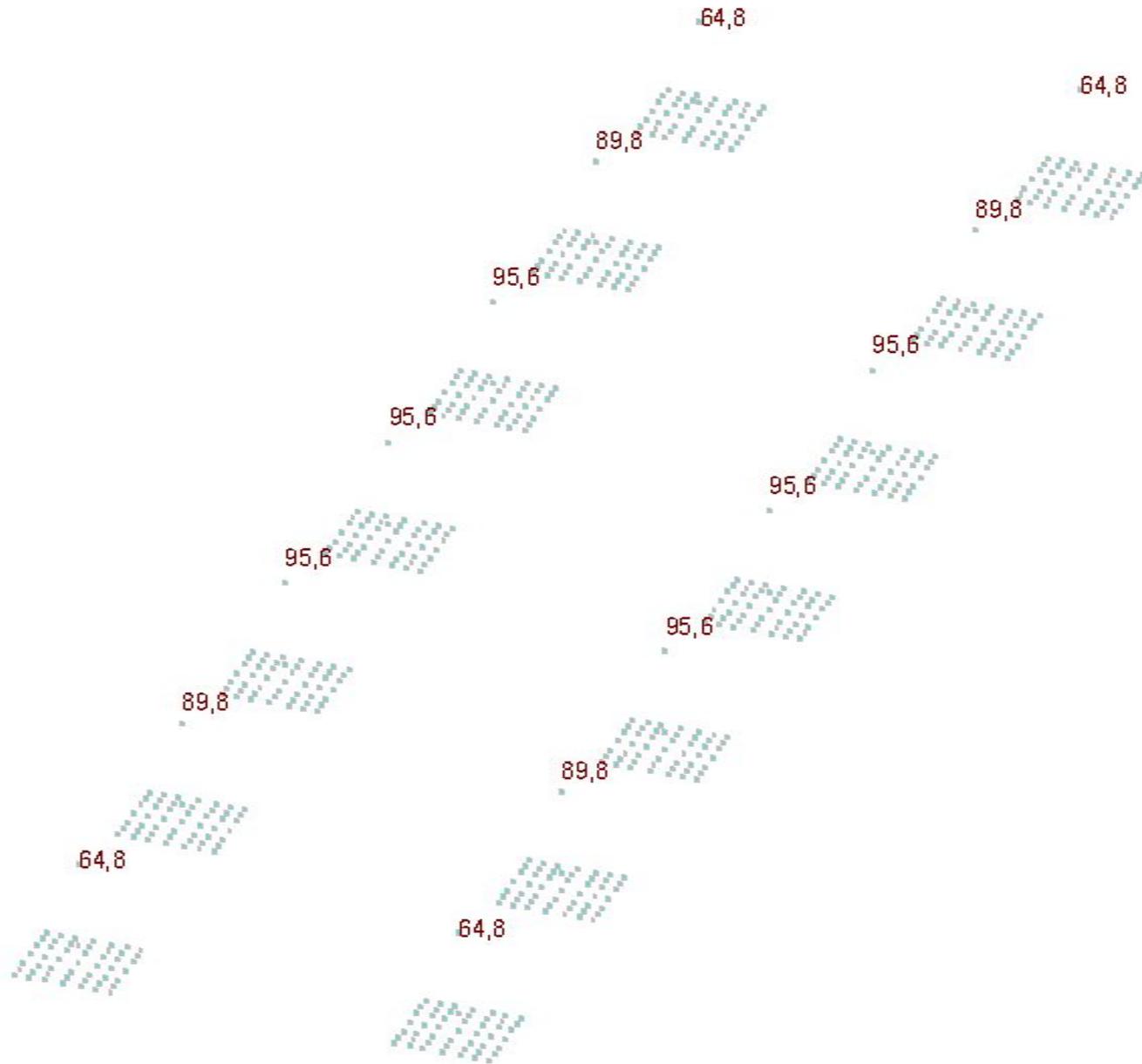
Относительный прогиб главной балки:  $\frac{46 - 22}{10000} = \frac{1}{417} < \frac{1}{200}$

Относительный прогиб прогона:  $\frac{57 - 32}{6000} = \frac{1}{240} < \frac{1}{200}$

# Эпюры усилий в рамах



# Нагрузки на фундаменты

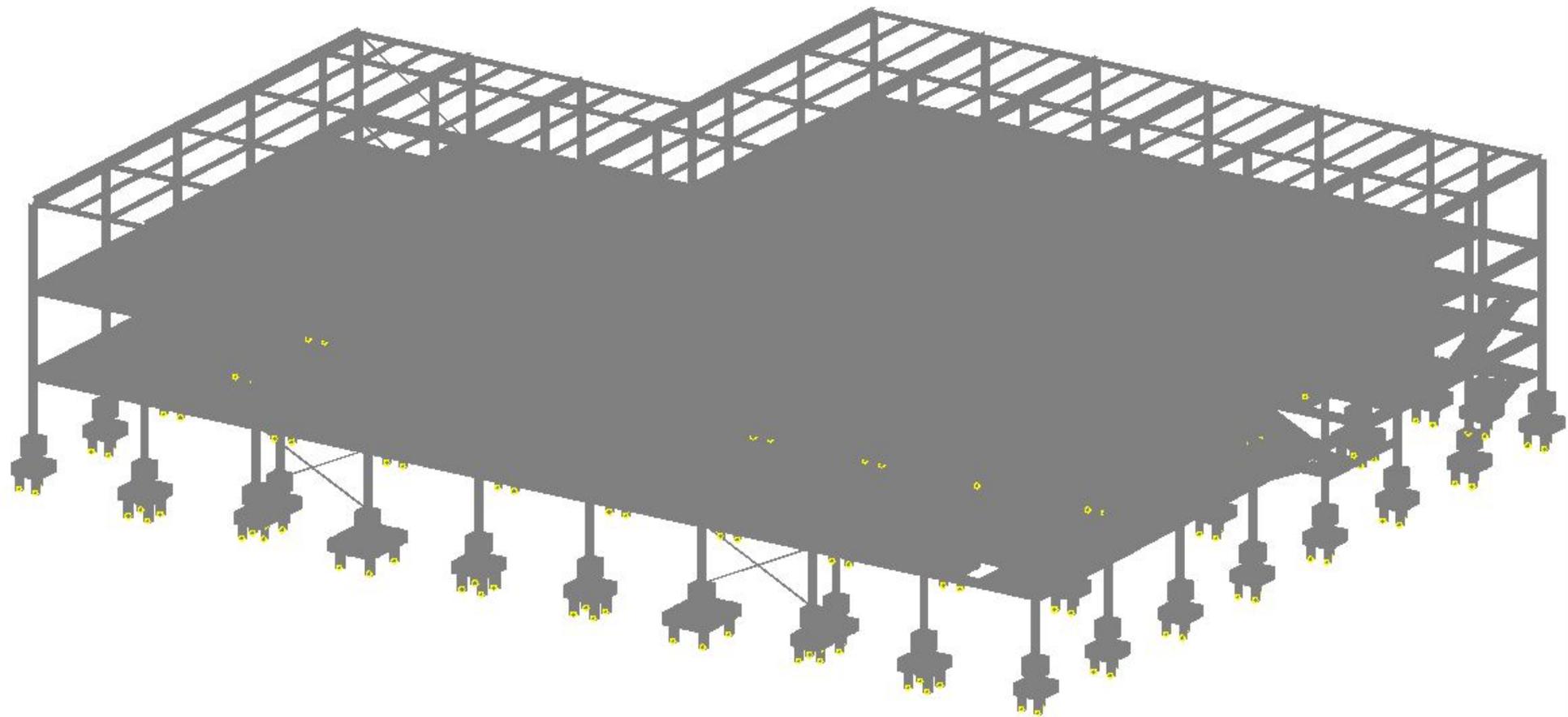


Для получения зачета студент  
представляет рабочий SCAD-  
файл и файл пояснительной  
записки.

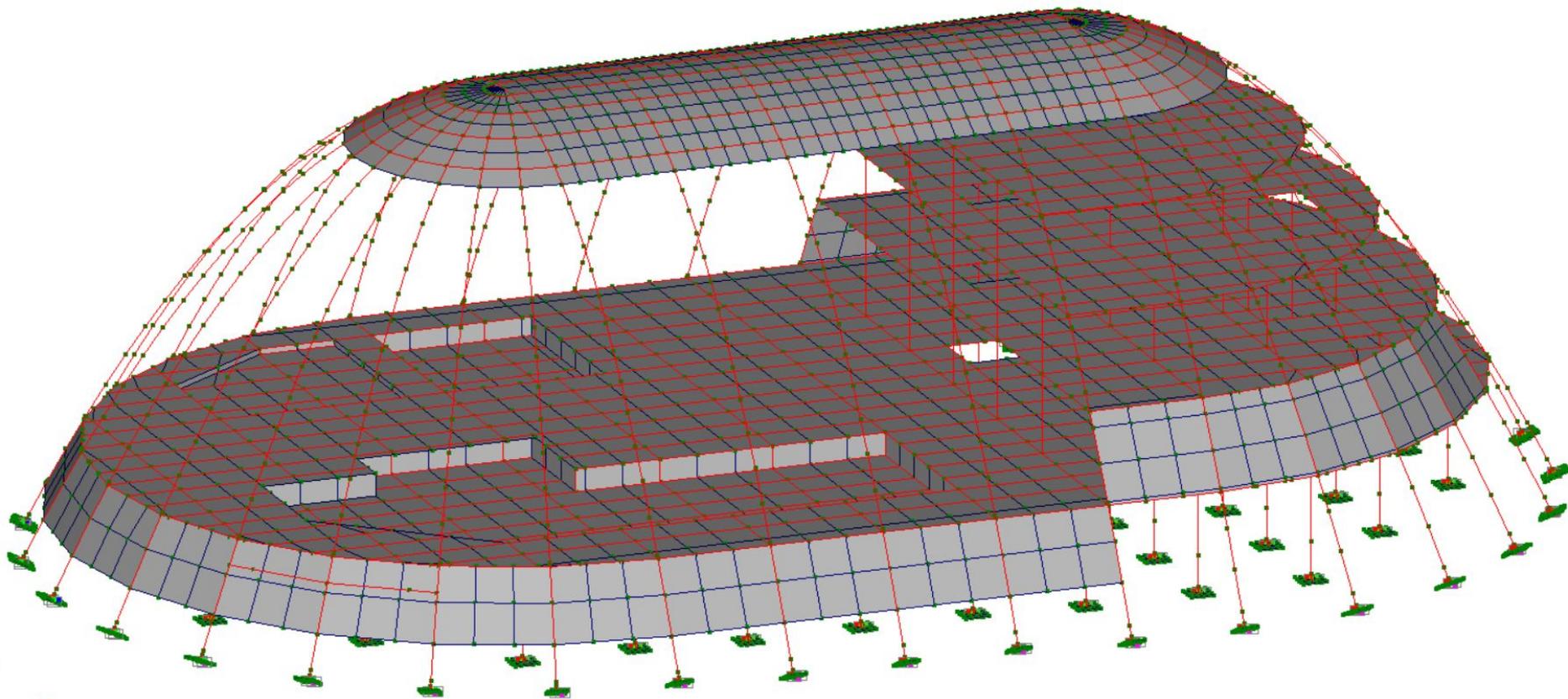
Решение о зачете или незачете  
принимается по результатам  
собеседования.

Навыки применения SCAD,  
полученные в ходе освоения  
учебного курса, студенты-  
дипломники используют для  
выполнения своих ВКР.  
Вот некоторые примеры  
последних лет.

Торгово-развлекательный комплекс в пос.  
Мурмаши. Металлический каркас,  
монолитные перекрытия. Дипломный проект

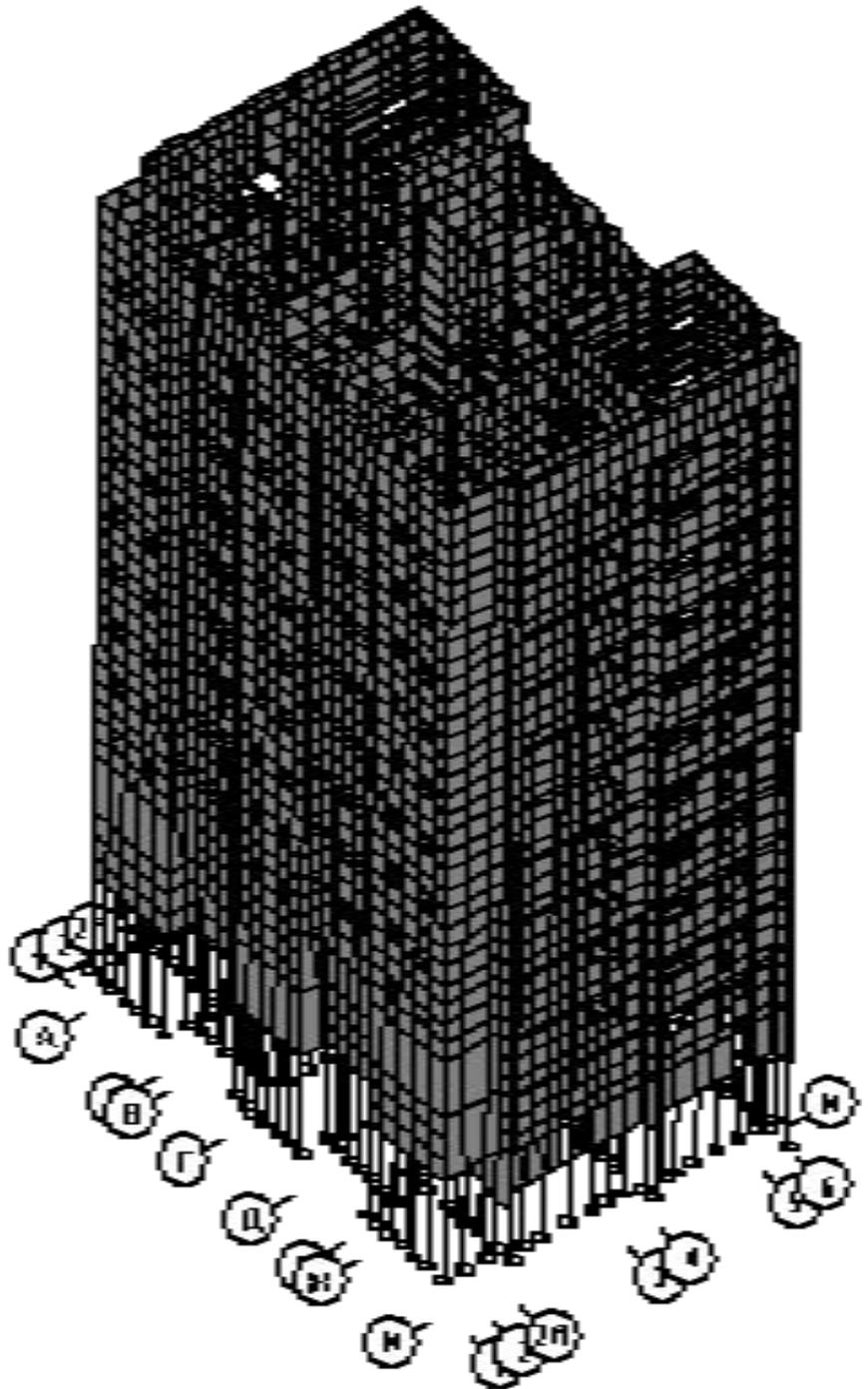


Аквапарк в г. Мурманске. Монолитный  
железобетон. Дипломный проект 2013.  
Габариты 80×50×25 м



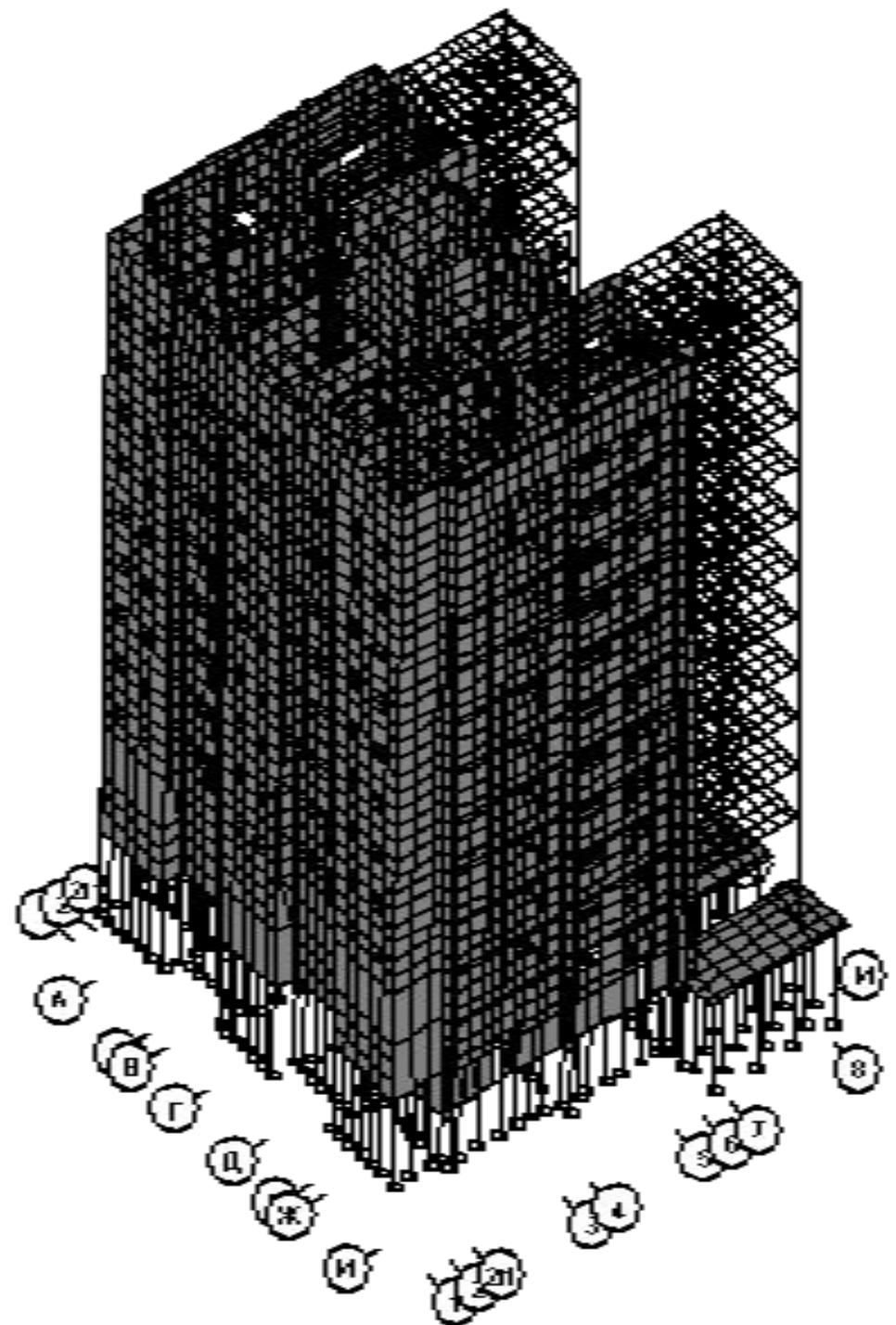
Аварийный жилой дом  
в г. Мурманске: крен вправо до  
30 см вследствие неправильного  
проектирования свайного  
основания. Кирпич, сборный  
железобетон. Расчетная схема с  
учетом крена:

- ▽0.00
- ▽0.55
- ▽25.2
- ▽22.0
- ▽19.6
- ▽16.0
- ▽10
- ▽11.2
- ▽0.4
- ▽5.6
- ▽2.0
- ▽0
- ▽-2.0
- ▽-5.6
- ▽-6.7
- ▽-0.55



Этот же дом после  
реконструкции. Усиление  
жилыми контрфорсами:  
металлический каркас на  
мощном свайном основании.  
Дипломный проект 2012 г.

- ▽29.08
- ▽27.5
- ▽25.2
- ▽22.4
- ▽19.6
- ▽16.8
- ▽14
- ▽11.2
- ▽8.4
- ▽5.6
- ▽2.8
- ▽0
- ▽-2802
- ▽-5692
- ▽-8552

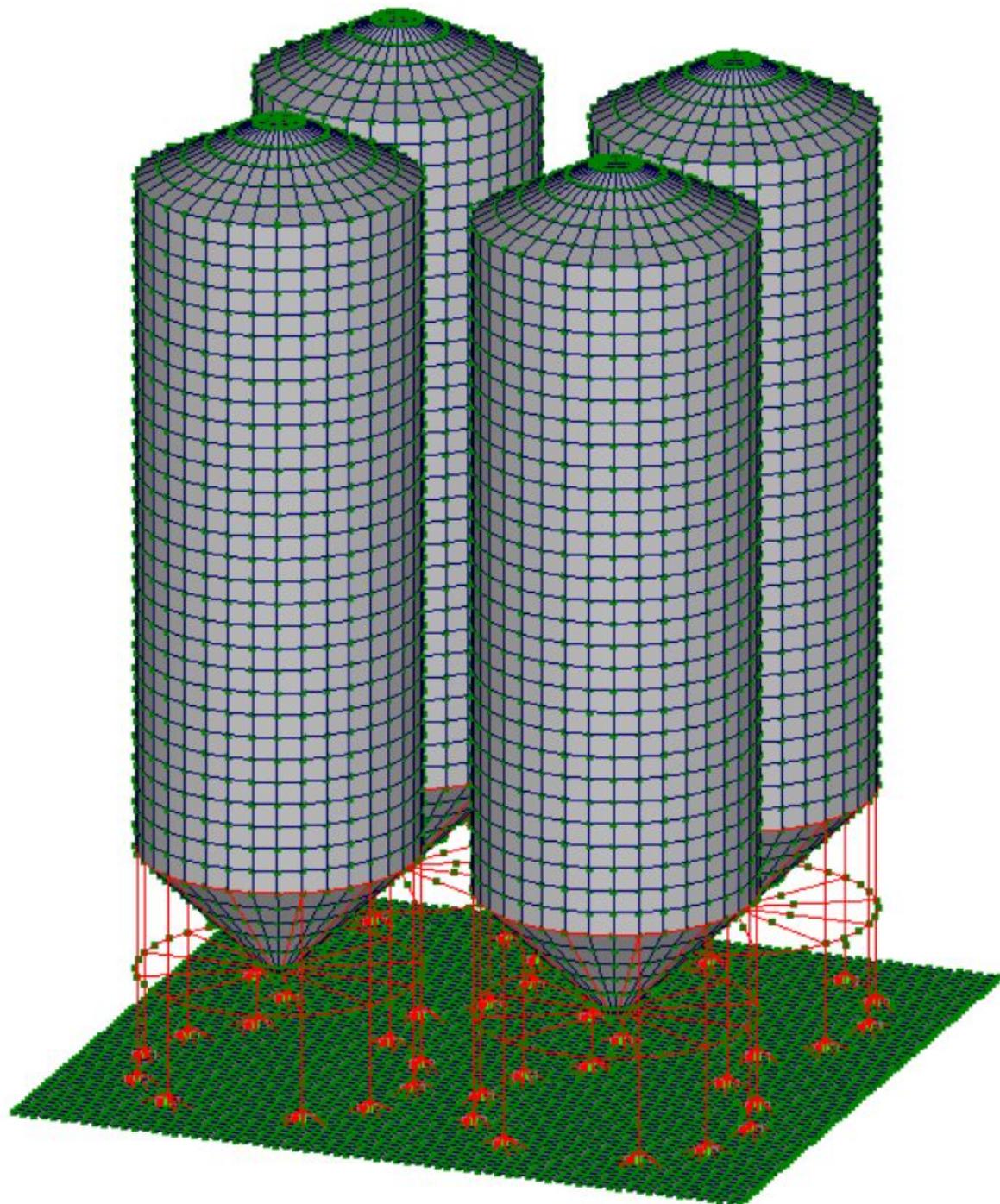


Силосный склад железорудного  
концентрата в г. Ковдоре  
Мурманской обл.

Монолитный железобетон.

Высота сооружения - 45 м,  
диаметр силоса – 12 м.

Выпускная квалификационная  
работа 2013 г.



Многоэтажный жилой дом с  
подземной парковкой в г.  
Мурманске.

25 этажей, высота 75 м  
Монолитный железобетон.  
Дипломный проект 2015 г.

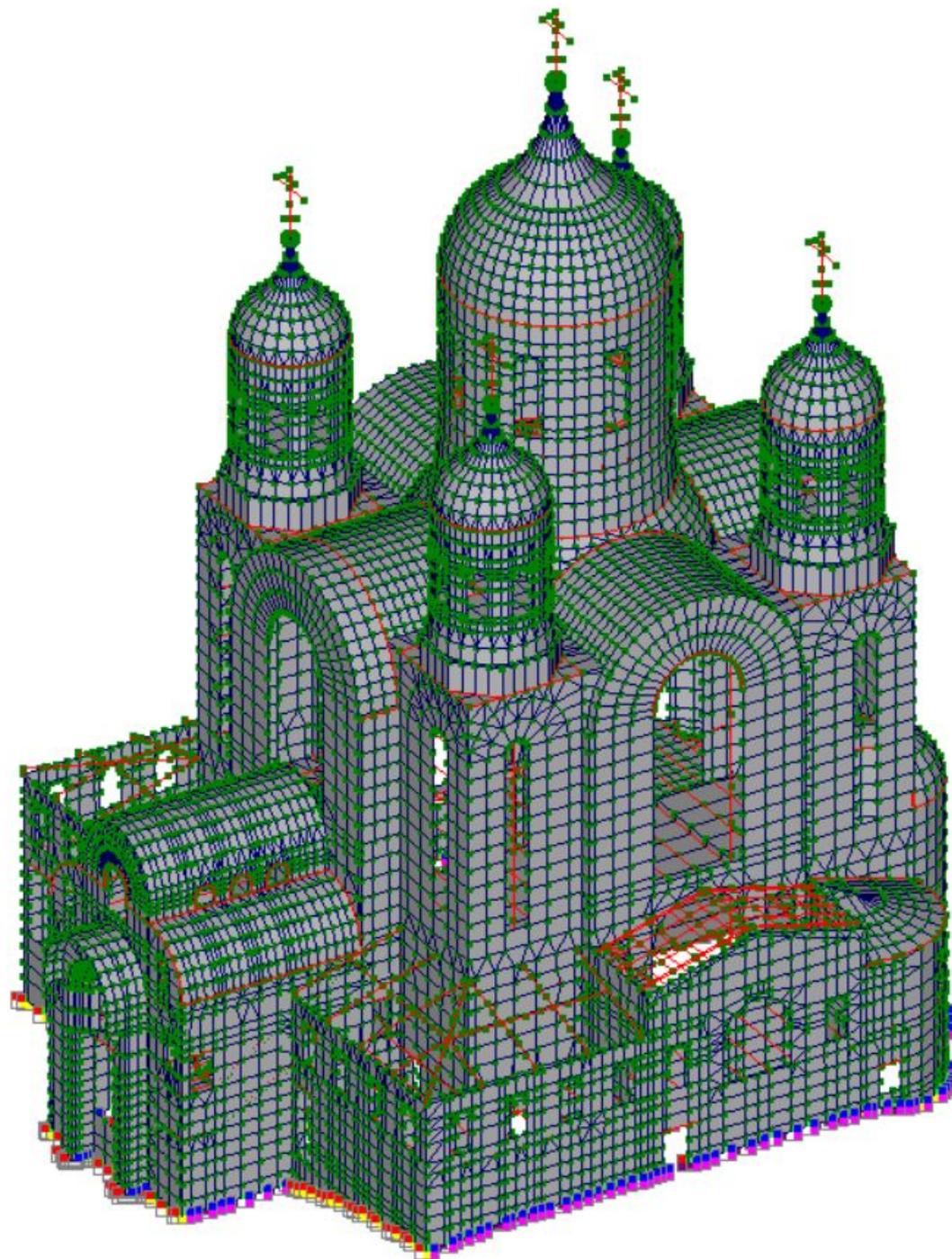
$\nabla D$

Б  
В  
Г  
Д  
Е  
Ж  
И  
К  
Л

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

Б  
В  
Г  
Д  
Е  
Ж  
И  
К  
Л

Еще один проект, уже не студенческий, а выполненный в рамках сотрудничества с «Мурманскпромпроектom»: кафедральный собор в г. Мурманске. Кирпич, металл, сложный криволинейный железобетон.



Спасибо за  
внимание!