

**ИСА | 08.03.01 | ПГС | 6-й семестр**

# **Железобетонные и каменные конструкции**

## **Практическое занятие №11**



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

www: [mgsu.ru/universityabout/Struktura/Kafedri/ZhBK/](http://mgsu.ru/universityabout/Struktura/Kafedri/ZhBK/)

e-mail: [gbk@mgsu.ru](mailto:gbk@mgsu.ru); [PekinDA@mgsu.ru](mailto:PekinDA@mgsu.ru)

тел.: +7 495 287 49 14 доб. 3036, 3084

Пекин Дмитрий Анатольевич, доцент, к.т.н.

# Практическое занятие №11 – краткий обзор:

Тонкостенные пространственные покрытия зданий:

- Описание конструктивных решений и методов расчета
- Пример оболочки вращения с перекрестными ребрами
- Пример висячей оболочки с радиальными вантами
- Пример цилиндрической оболочки в виде свода

# Оболочка – пространственная конструкция покрытия

Ограниченная двумя криволинейными поверхностями, расстояние между которыми существенно меньше других размеров. Описание различных форм оболочек относится к их срединной поверхности, отстоящей от нижней и верхней поверхностей на равные расстояния

- Поверхность оболочки обладает кривизной в одном или двух направлениях
- Форма поверхности оболочки подбирается таким образом, чтобы обеспечить ее работу преимущественно на сжатие, исключением являются висячие оболочки
- Изгибные внутренние усилия в оболочках могут действовать в отдельных локальных местах и крайне опасны, особенно, в случае применения тонкостенных конструкций

# Криволинейная поверхность оболочек

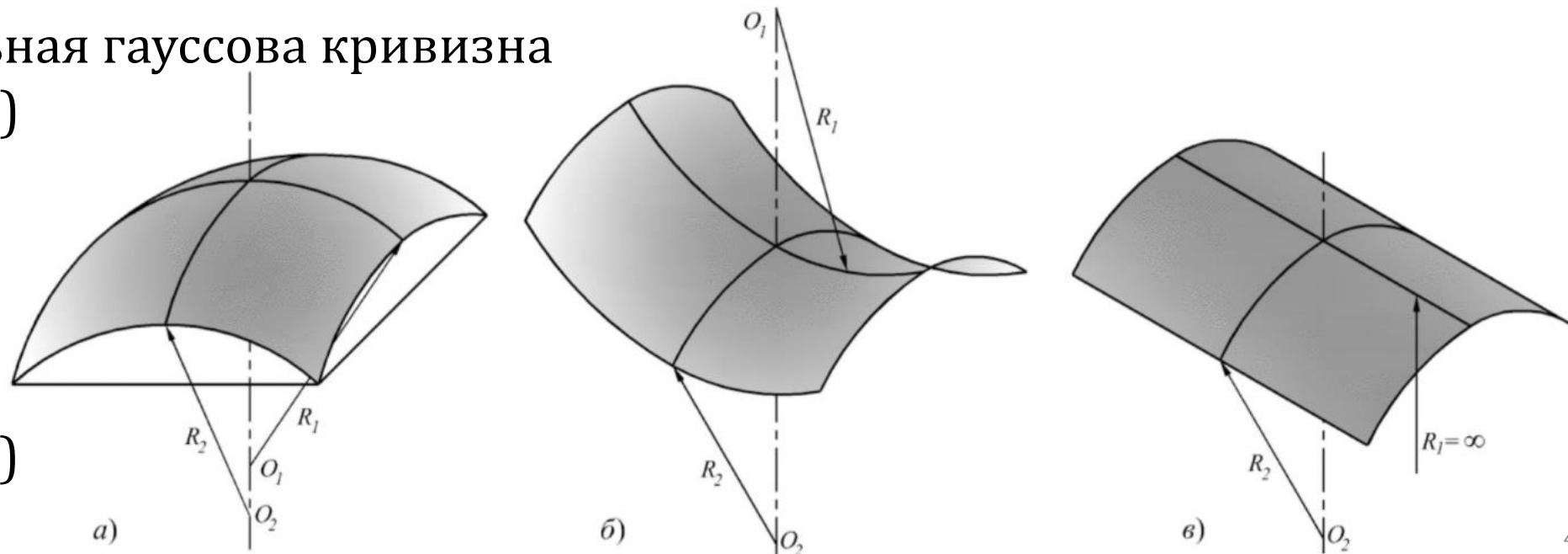
В любой точке содержит взаимно перпендикулярные кривые, каждая из которых имеет наибольший ( $R_1$ ) и наименьший ( $R_2$ ) радиусы кривизны

Соответствующие этим радиусам кривизны  $\rho_1 = 1/R_1$  и  $\rho_2 = 1/R_2$  называются главными, а их произведение  $K = \rho_1\rho_2$  – **гауссовой кривизной**

- а) – положительная гауссова кривизна ( $\rho_1 > 0$  и  $\rho_2 > 0$ )

- б) – отрицательная гауссова кривизна ( $\rho_1 < 0$  и  $\rho_2 > 0$ )

- в) – нулевая (одинарная) гауссова кривизна ( $\rho_1 = 0$  и  $\rho_2 > 0$ )



# Типы оболочек

Разделяются в зависимости от способа формирования поверхностей на:

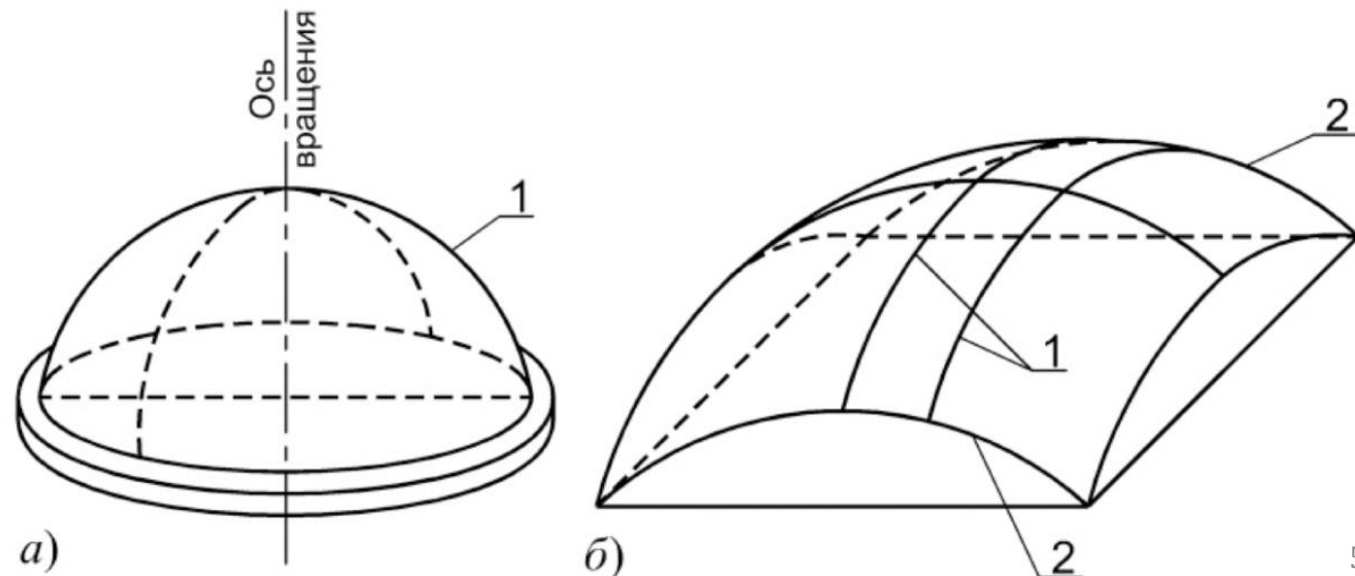
- **Оболочки вращения** – при вращении кривой, прямой или ломанной вокруг неподвижной вертикальной или горизонтальной оси, находящейся с ней в одной плоскости (купола или цилиндрические оболочки соответственно)
- **Оболочки переноса** – при непрерывном перемещении образующей в виде кривой или прямой линии вдоль криволинейной направляющей

• а) – оболочка вращения

• б) – оболочка переноса

1 – образующая

2 – направляющие



# Наиболее распространенные оболочки:

- а) – цилиндрические оболочки
- б) – купола
- в) – оболочки положительной гауссовой кривизны
- г) – оболочки отрицательной гауссовой кривизны
- д) – волнистые своды
- е) – призматические складки

1 – оболочка

2 – диафрагма

3 – бортовой элемент

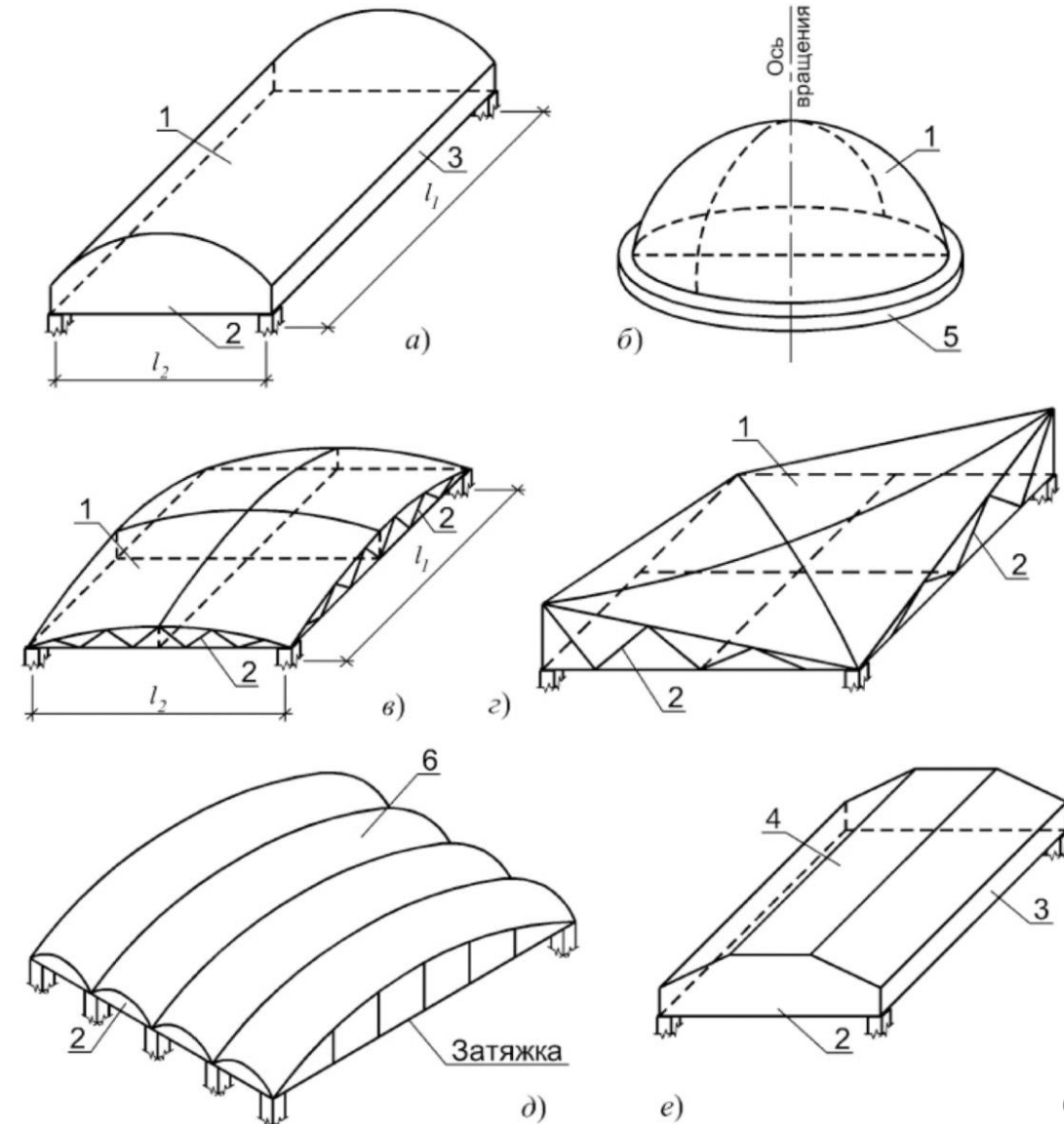
4 – складка

5 – опорное кольцо

6 – волна свода

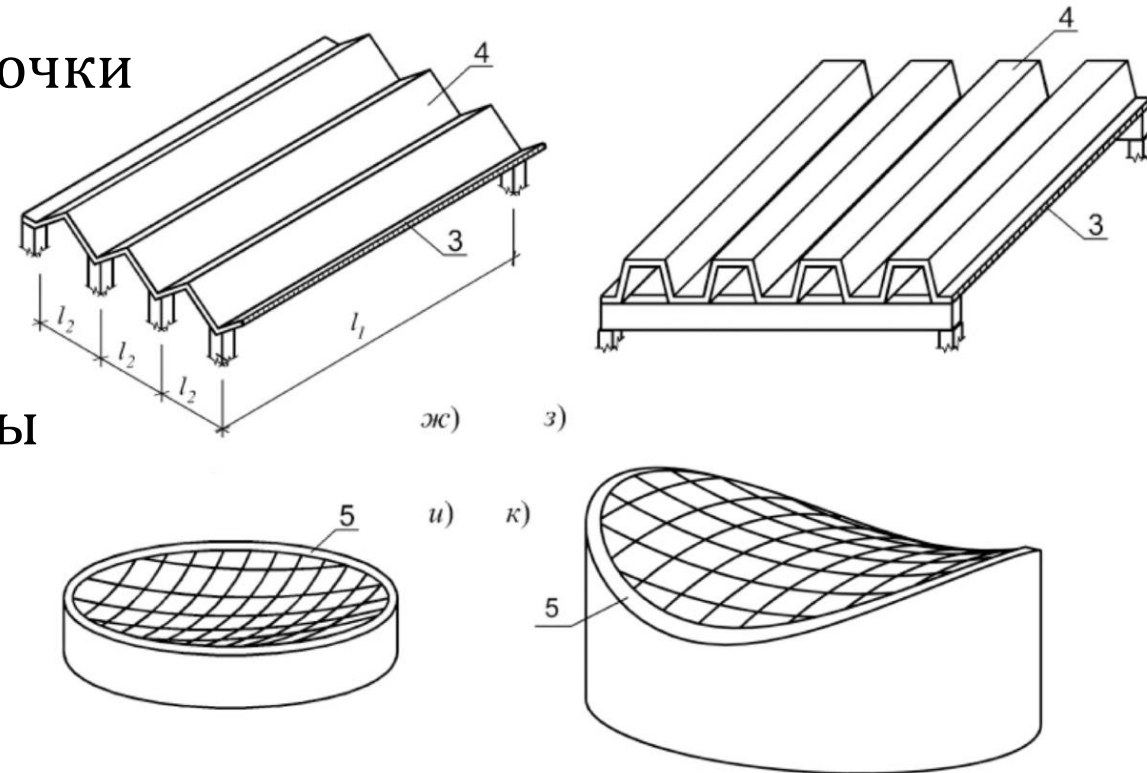
$l_1$  – пролет оболочки

$l_2$  – длина волны



# Примеры призматических и висячих оболочек:

- ж) – призматические треугольные оболочки
- з) – призматические трапециевидные оболочки
- и) – висячая сферическая оболочка
- к) – висячая оболочка двойкой кривизны



3 – бортовой элемент

4 – складка

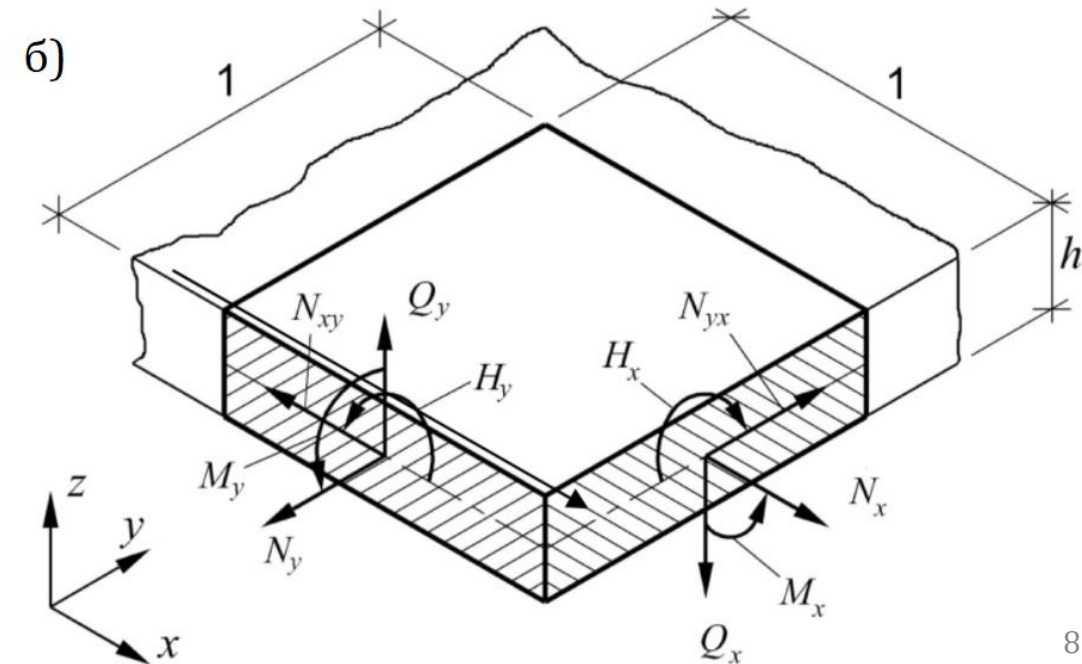
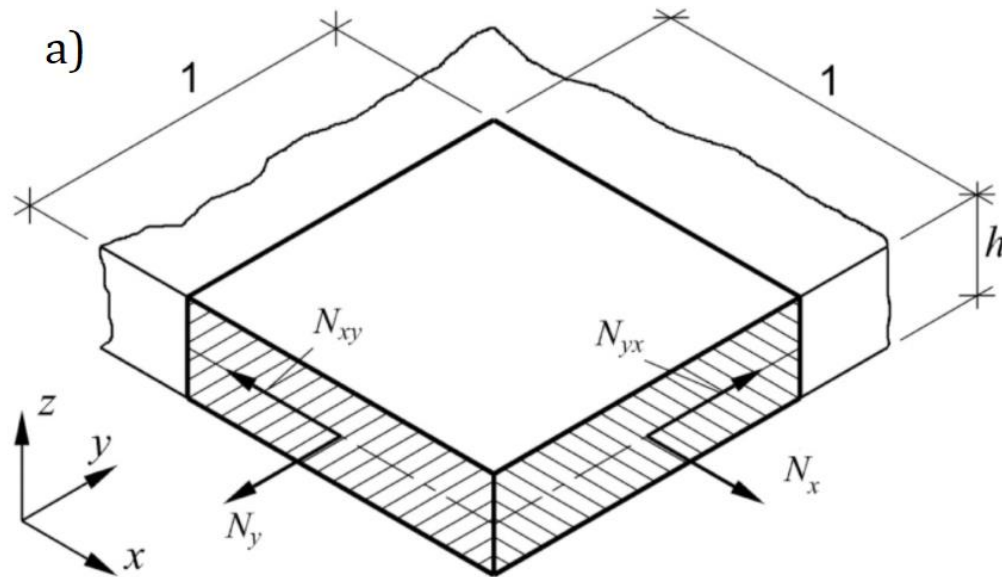
5 – опорное кольцо

$l_1$  – пролет оболочки

$l_2$  – длина волны

# Теории расчета оболочек:

- а) Техническая теория тонких оболочек (безмоментная теория):
  - толщина меньше других размеров и изменяется плавно
  - отсутствие сосредоточенных нагрузок и резкого изменения распределенных
- б) Техническая теория изгиба пластин (теория Кирхгофа-Лява)
- в) Теория предельного равновесия (на основе метода Гвоздева)



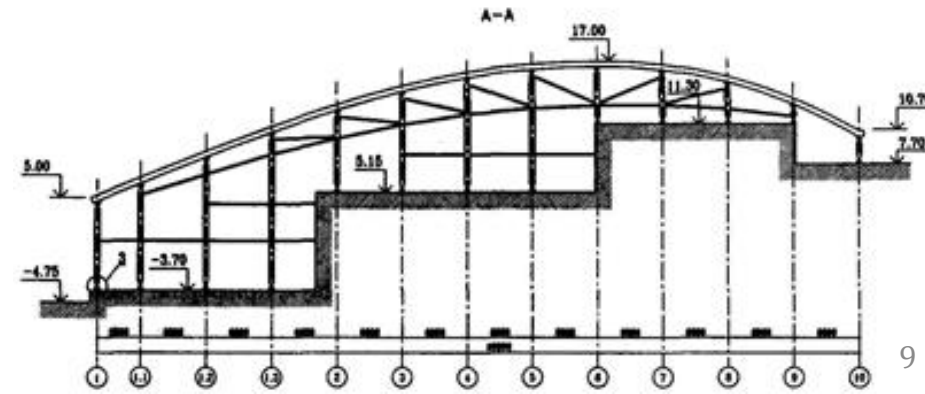
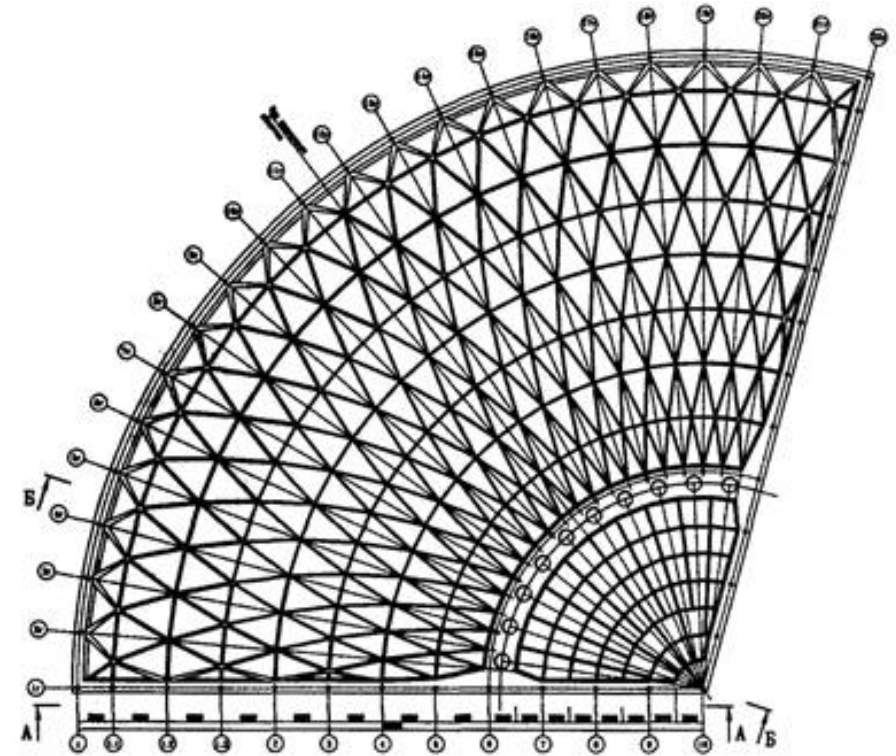


# Пример оболочки вращения с перекрестными ребрами:

- Стальные колонны с вертикальными связями по периметру покрытия и по малому радиусу
- Монолитные железобетонные опорный контур, перекрестные ребра и оболочка толщиной 70 мм

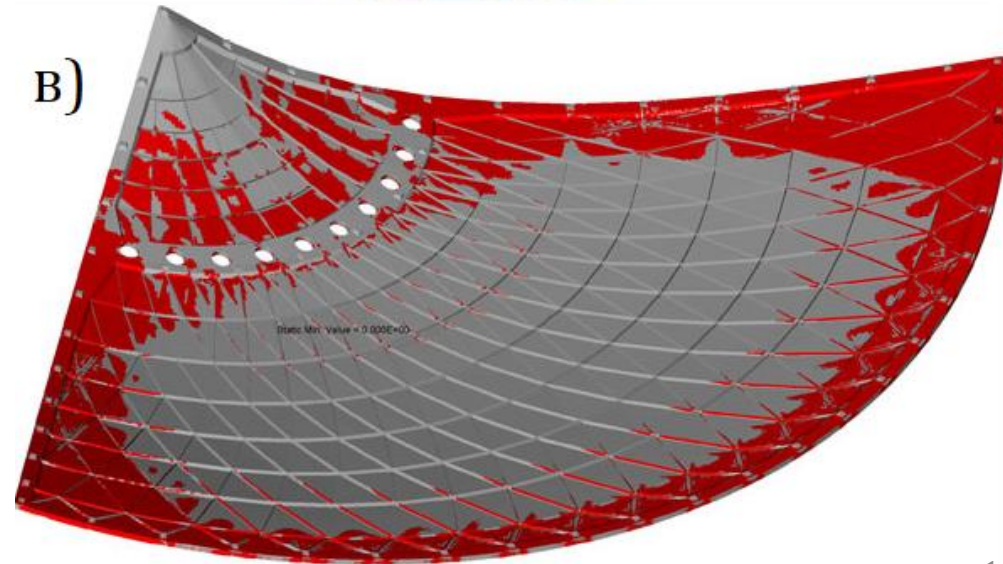
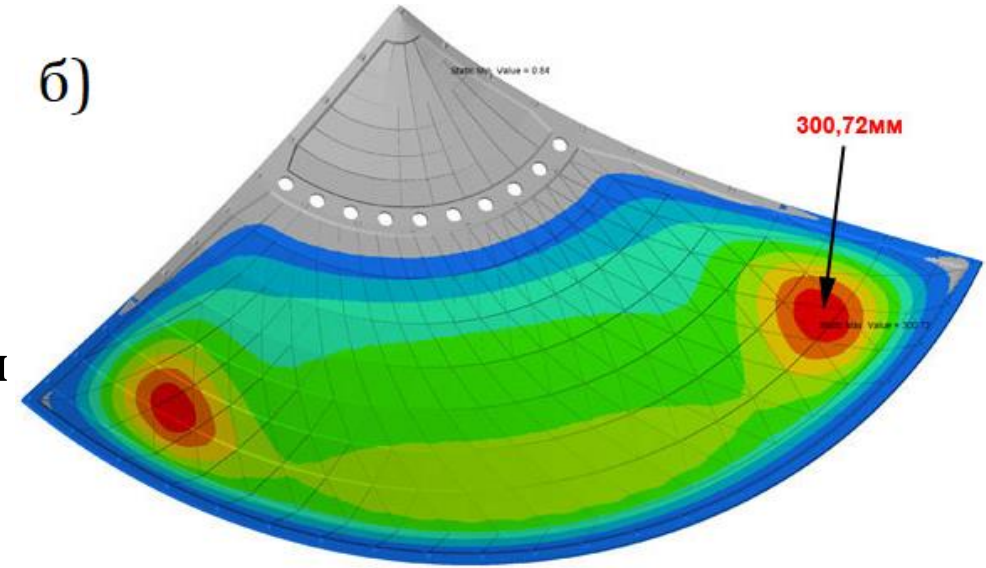
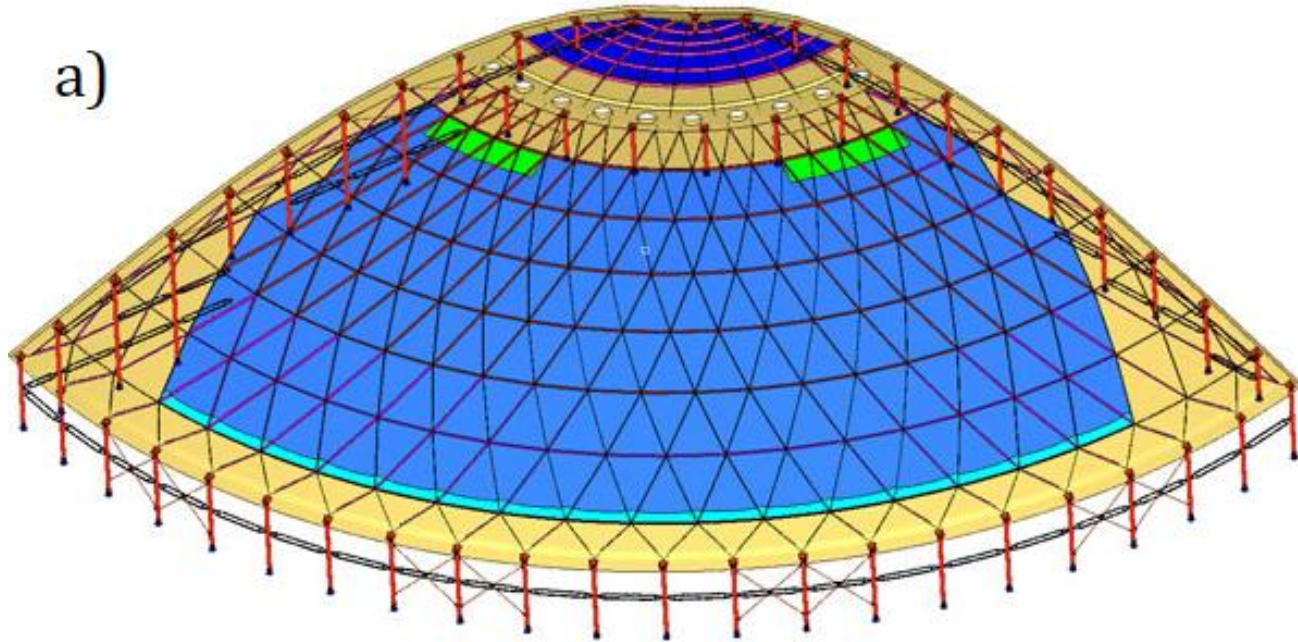


Здание Трансвааль-Парка в Москве



# Результаты нелинейного расчета каркаса здания:

- а) – Расчетная модель каркаса
- б) – Прогибы при нелинейном расчете
- в) – Зоны раскрытия трещин  
на рис. б) и в) показана нижняя поверхность оболочки



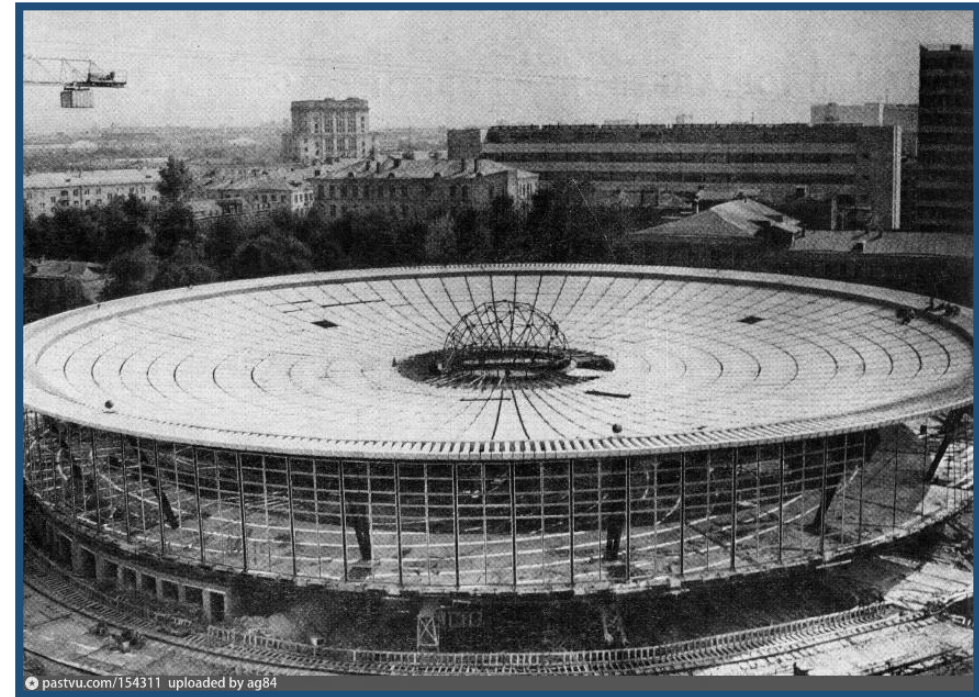
# Версии обрушения покрытия:

- Значительные прогибы после распалубливания, неучтенные в проекте
- Образование трещин и ползучесть в сжатой зоне бетона
- Работа фрагментов оболочки на изгиб



# Пример висячей оболочки с радиальными вантами:

- Предварительно напряженная оболочка диаметром 80 м
- Оболочка вращения с образующей в виде кубической параболы из керамзитобетонных плит толщиной 80 мм трапециевидной формы
- В качестве опор использованы 16 наклонных колонн с шарнирным опиранием на фундаменты
- В качестве вант использованы тросы длиной около 35 м и диаметром 52,5 мм
- Наружное сборно-монолитное опорное кольцо сечением  $1,5 \times 1(h)$  м
- Внутреннее висячее кольцо диаметром 12 м из двух сварных швеллеров со световым решетчатым фонарем сферической формы

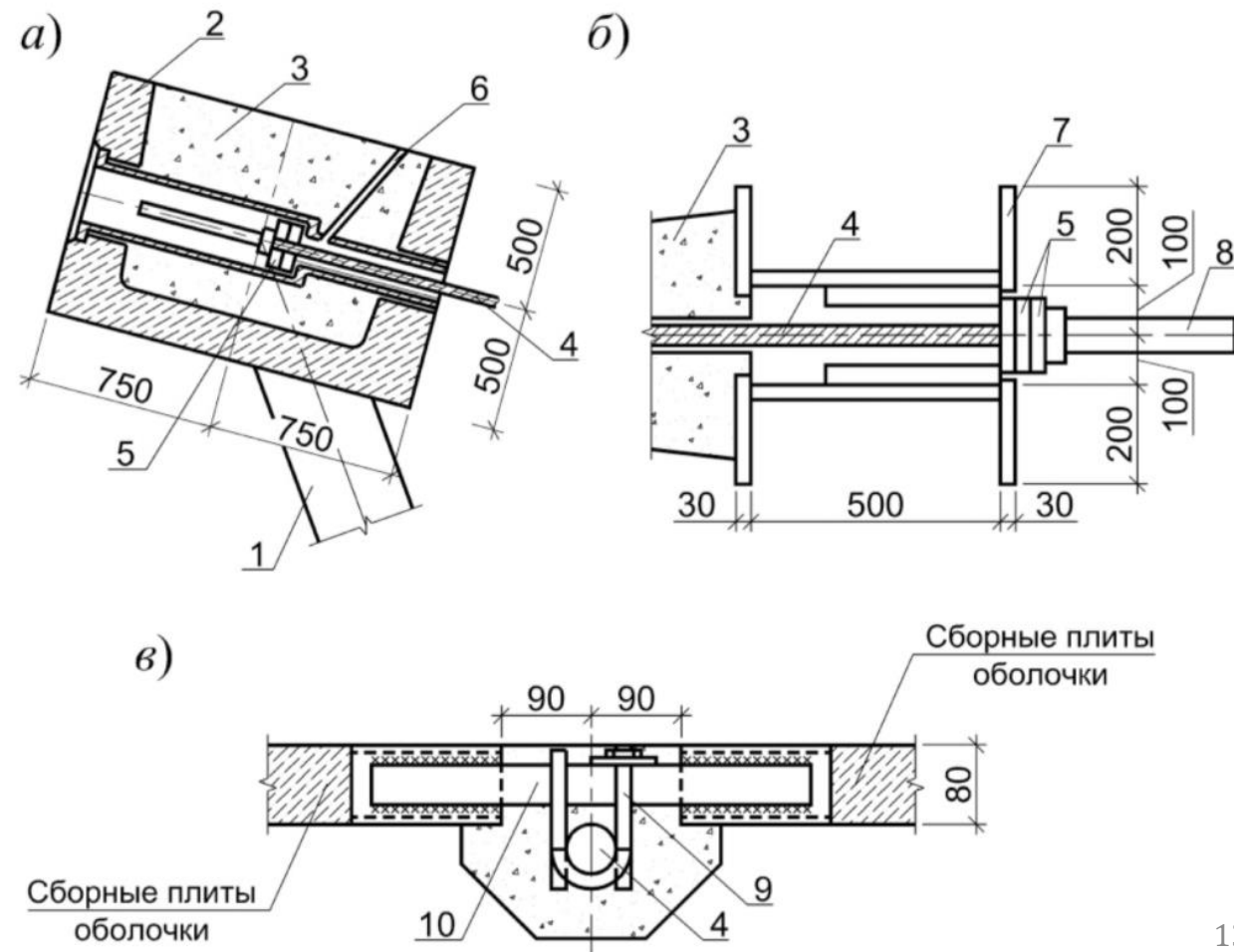


Здание Басманного рынка в Москве

# Конструктивное решение оболочки:

- а) – крепление ванта в наружном опорном (сжатом) кольце
- б) – крепление ванта во внутреннем висячем (растянутом) кольце
- в) – опирание плит на ванты

- 1 – стальная колонна
- 2 – сборный элемент кольца
- 3 – монолитный бетон
- 4 – ванта
- 5 – вилочные шайбы
- 6 – инъекционный канал
- 7 – внутреннее кольцо
- 8 – гильзотреновый анкер
- 9 – стяжной болт
- 10 – опорные лапки плиты



# Версии обрушения покрытия:

- Отказ одного ванта в связи с коррозией
- Коррозия стальных конструкций
- Не соблюдение правил эксплуатации
- Перепланировка помещений с увеличением нагрузки на перекрытие



# Пример цилиндрической оболочки в виде свода:

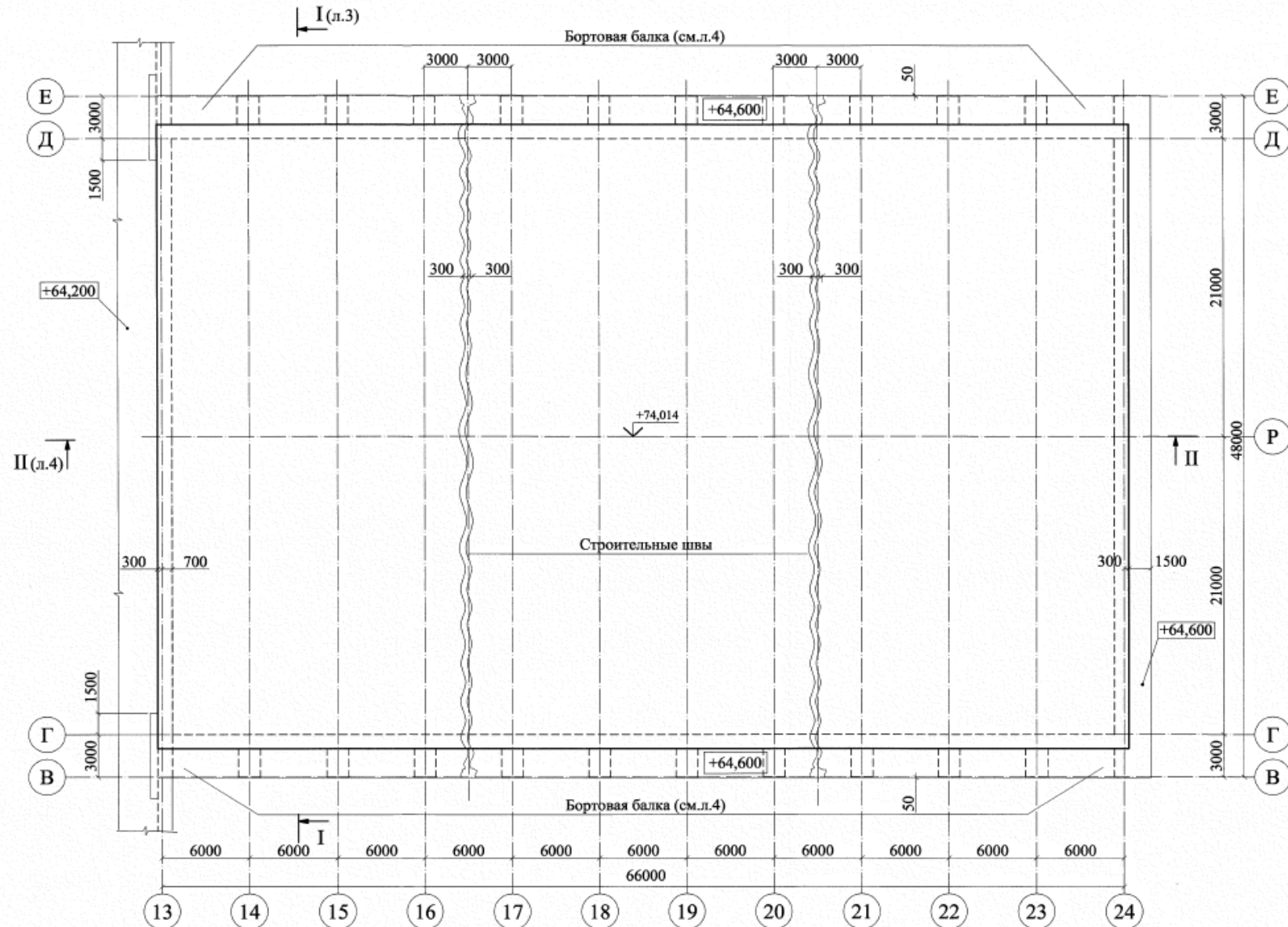
- Ширина свода 43 м, длина – 66 м, толщина – 0,7 м
- По срединной поверхности свода: радиус кривизны  $R_1 = 30$  м,  $R_2 = \infty$
- Продольные бортовые элементы сечением –  $3 \times 1,6$  м
- Стрела подъема  $f = 9,9$  м
- Толщина наружных стен – 1 м
- Пилястры в продольных стенах сечением –  $1,5 \times 2$  м с шагом 6 м
- Конструктивные элементы свода из бетон класса прочности на сжатие В50

Информация предоставлена Лабораторией №4 Тонкостенных и пространственных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева



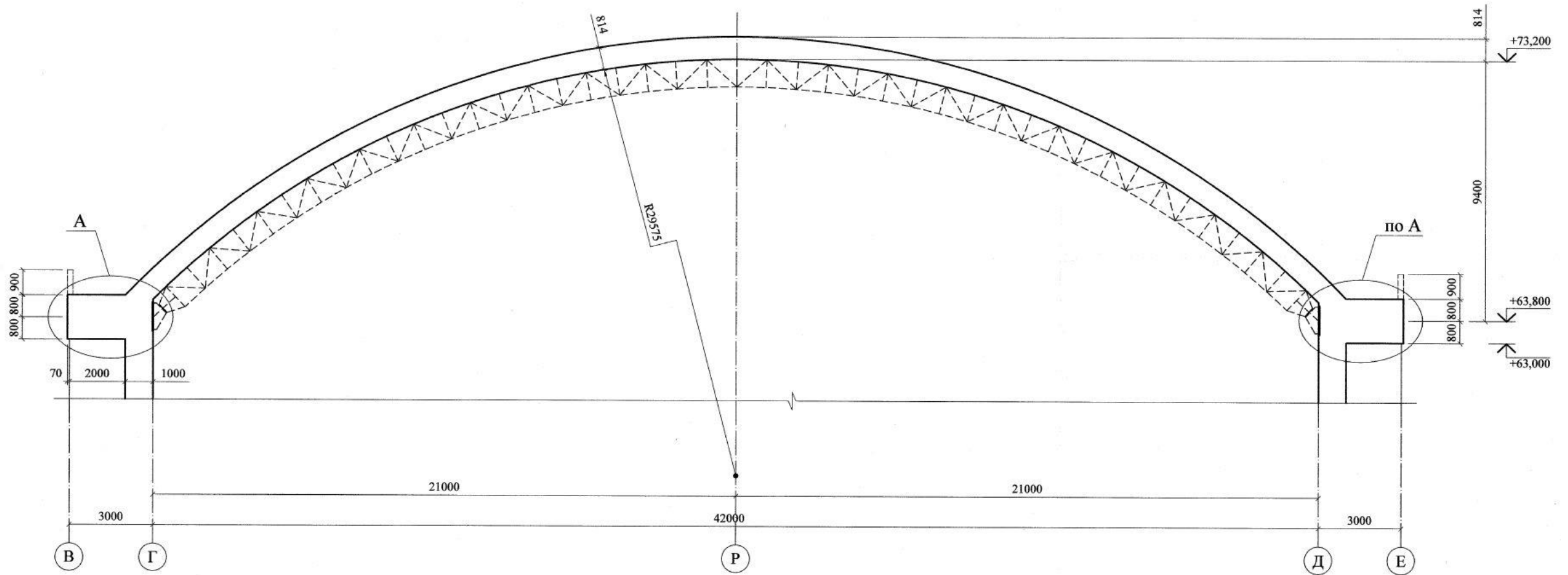
Реакторный блок АЭС

# План свода

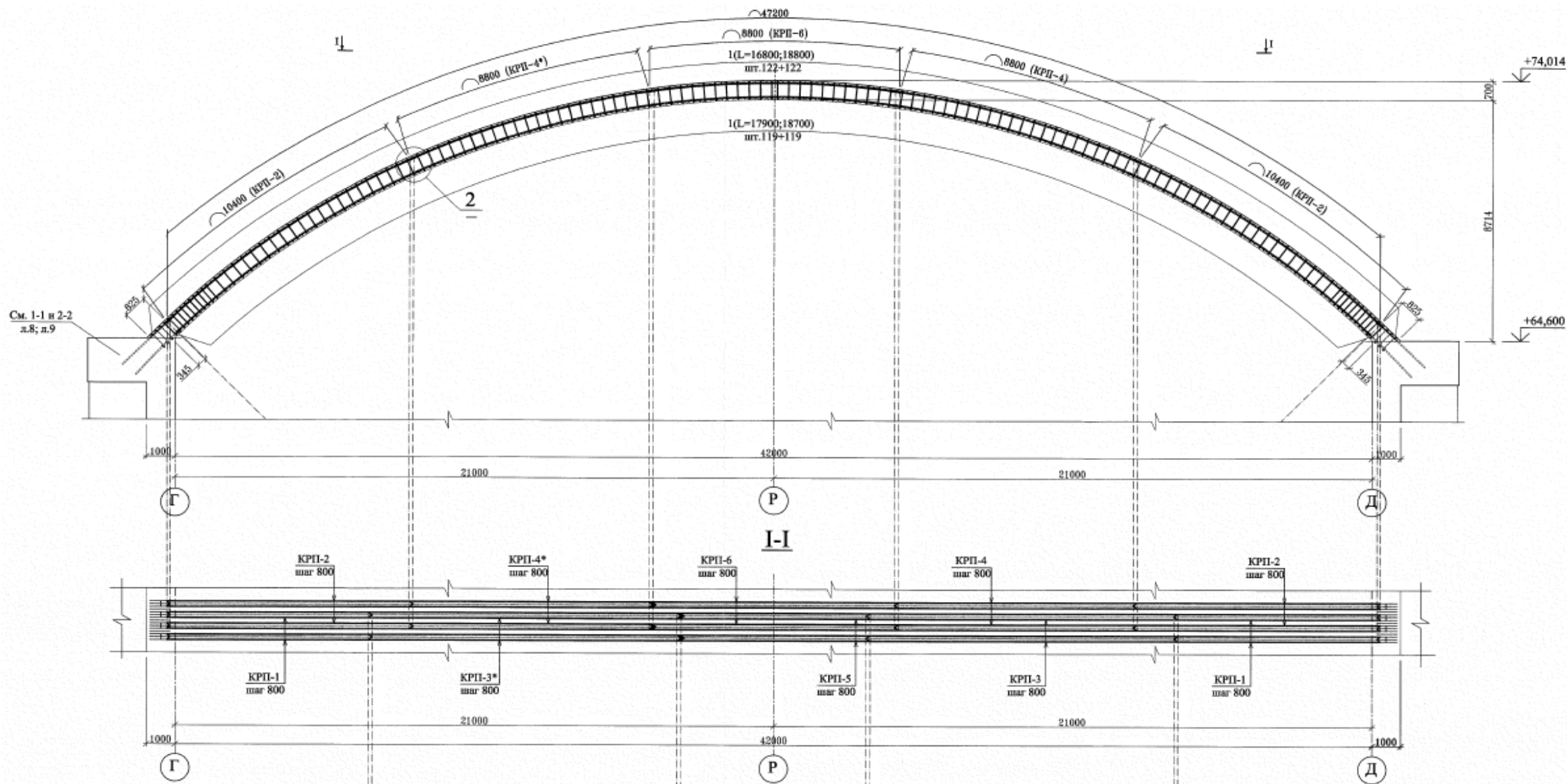




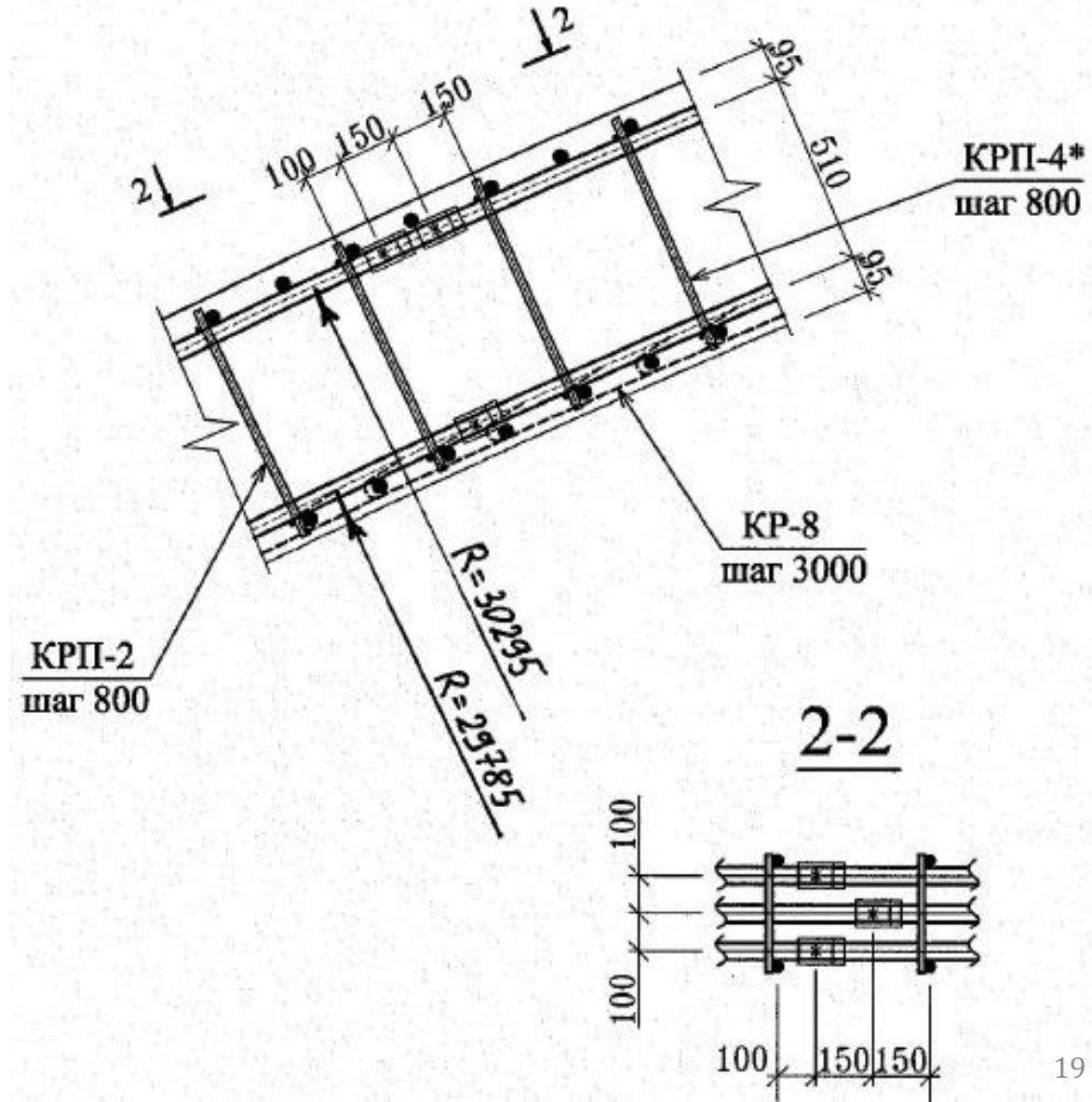
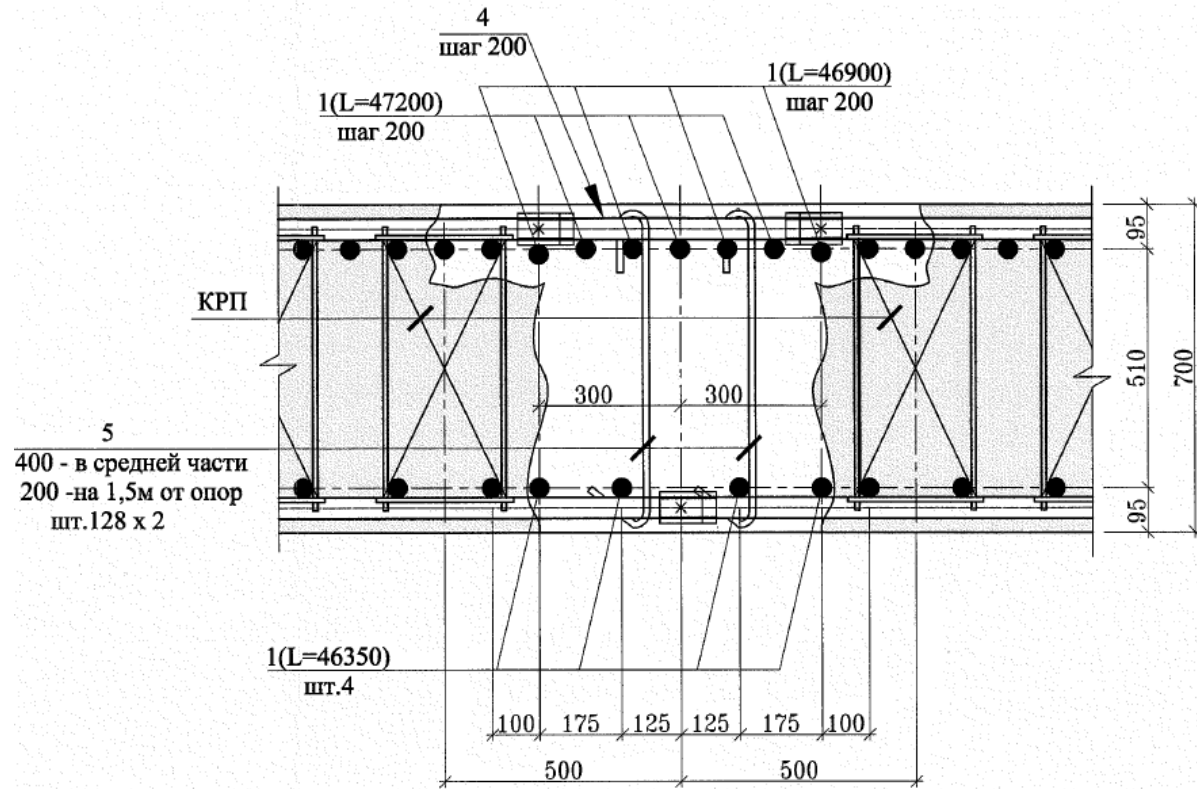
# Поперечный разрез по своду



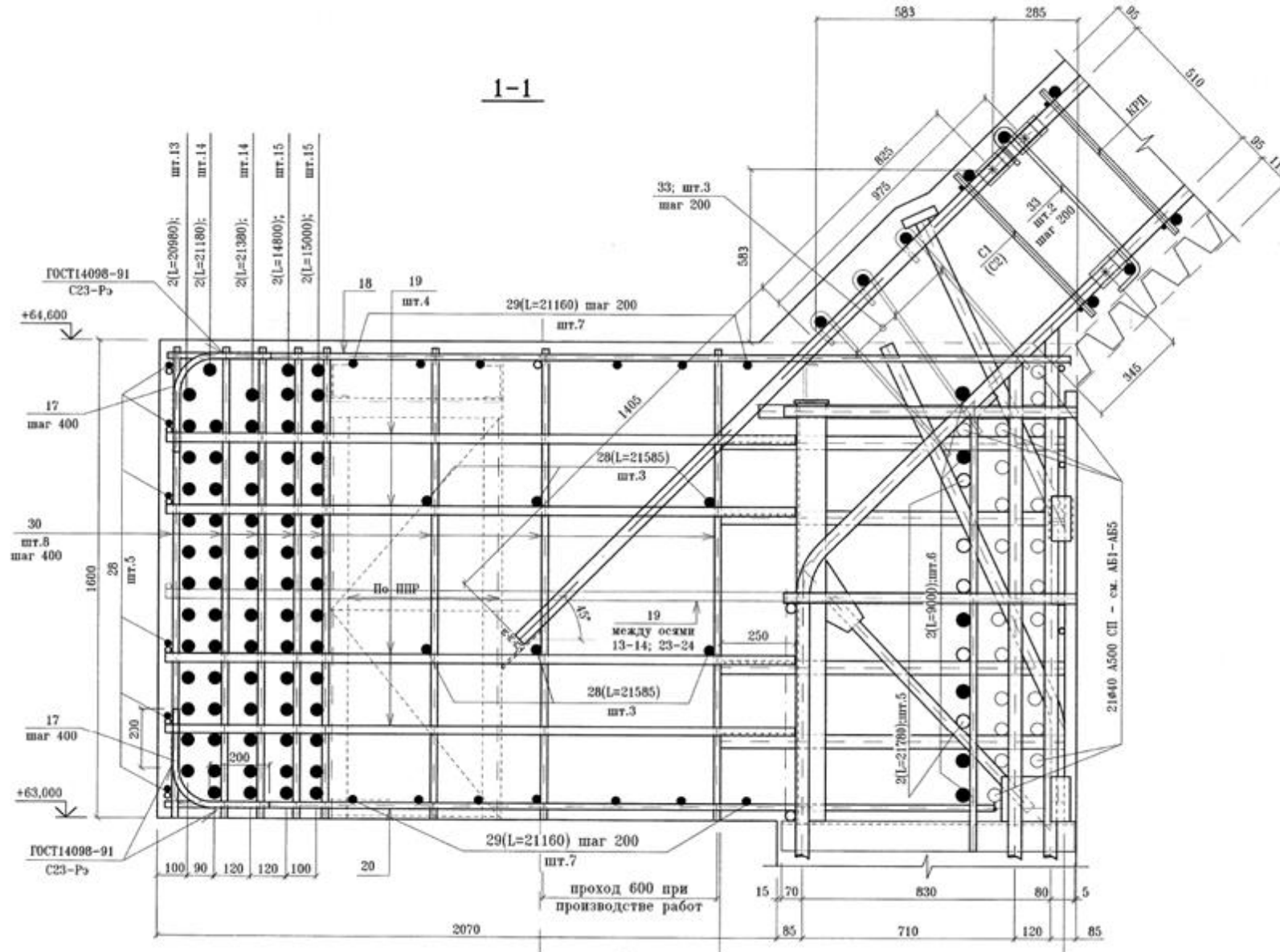
# Поперечный разрез с армированием



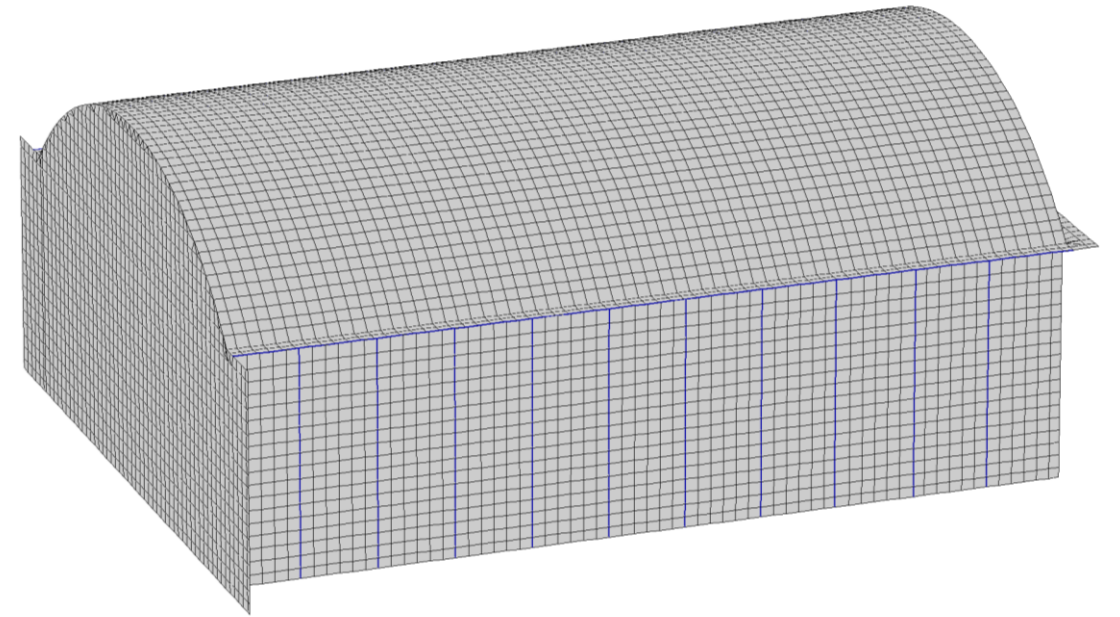
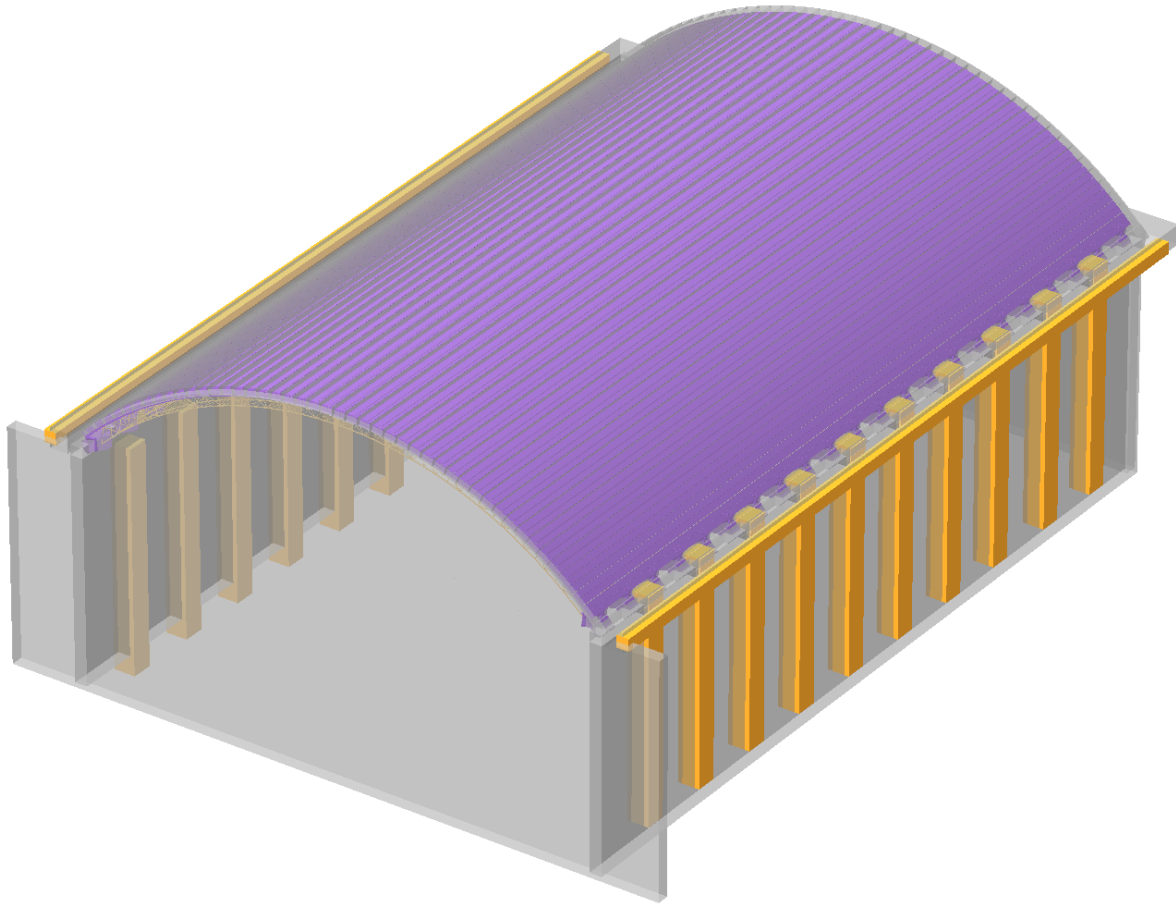
# Армирование свода



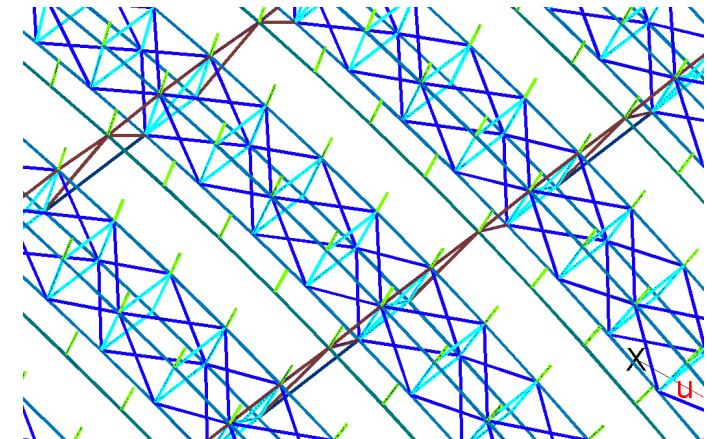
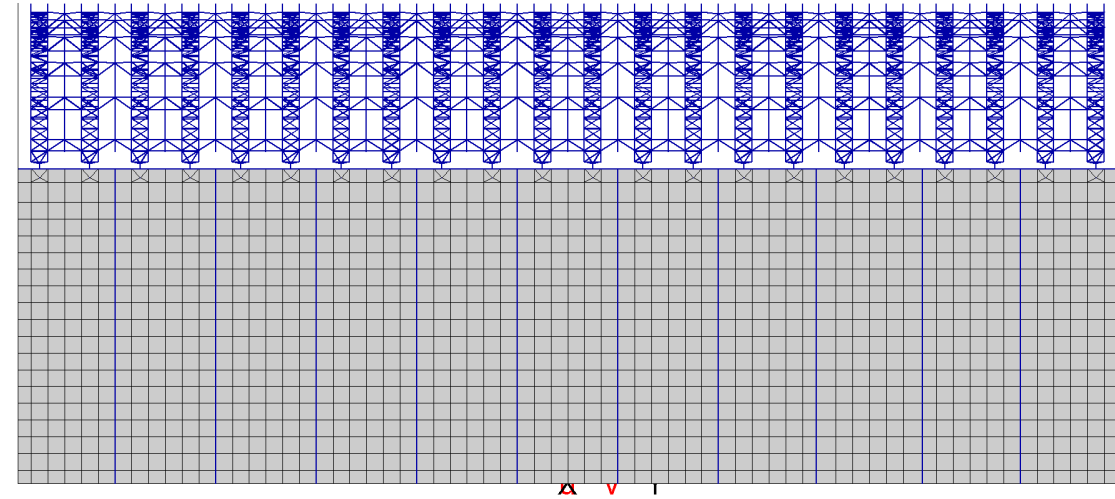
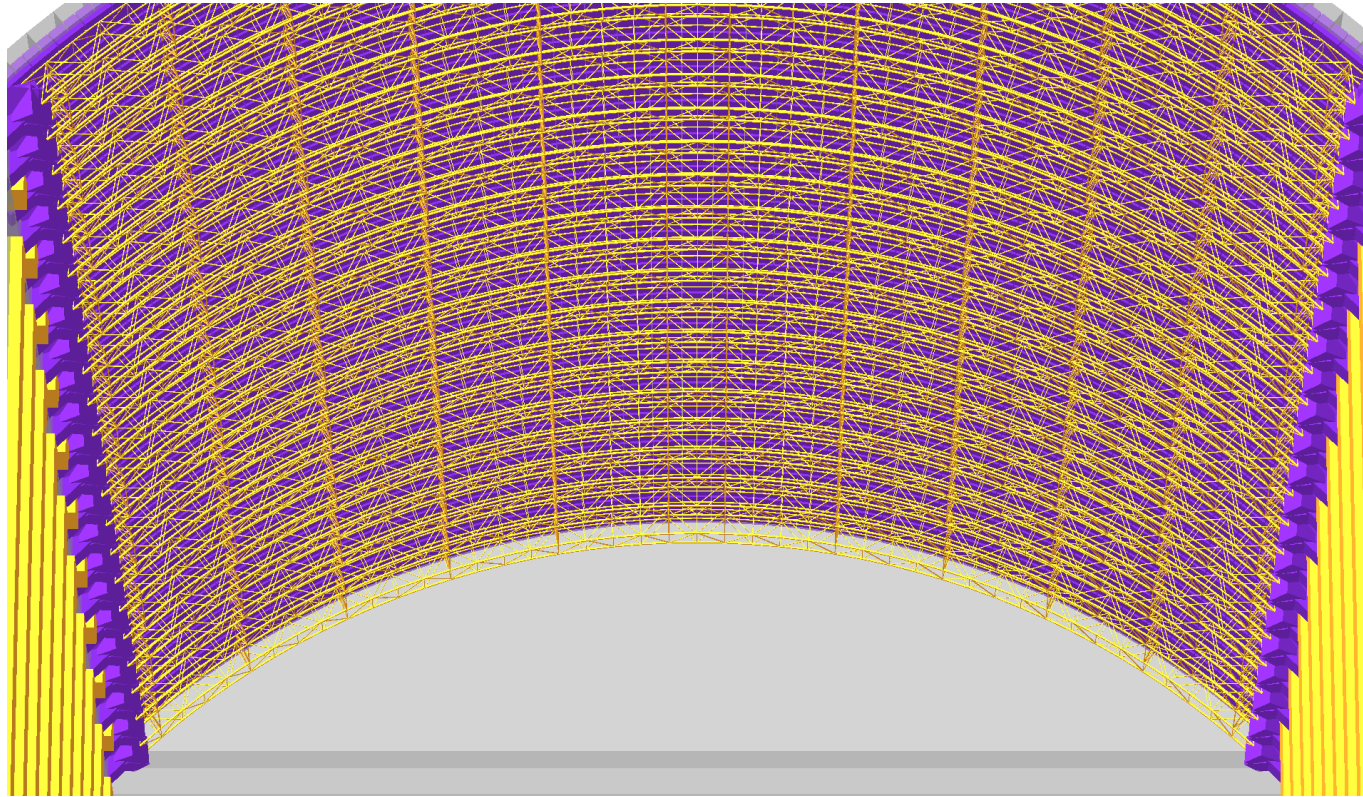
# Армирование бортового элемента



# Расчетная конечно элементная модель свода



# Расчетная модель опалубочной конструкции свода

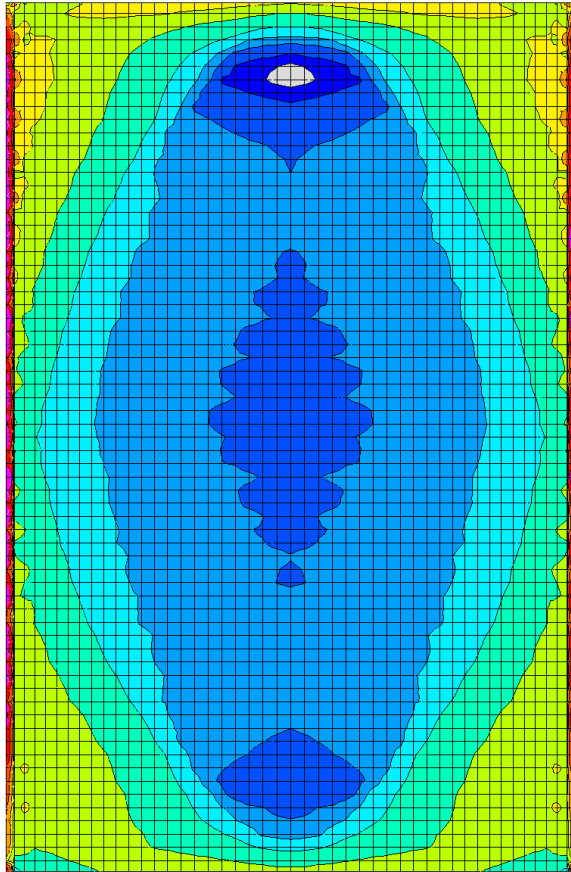


# Основные сочетания нагрузок:

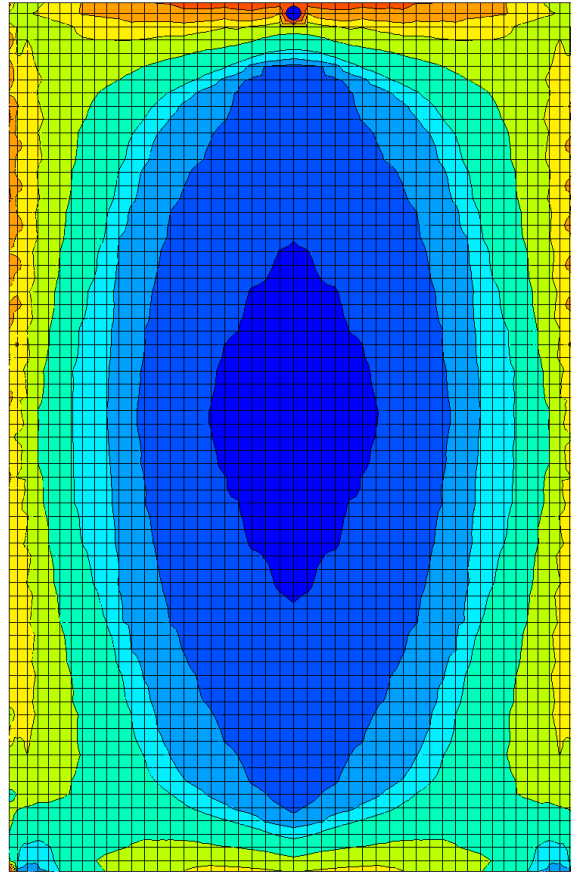
- Собственный вес конструкций
- Снеговая, III снеговой район, схема 1
- Снеговая, схема 2а
- Снеговая, схема 2б
- Ветровая, II ветровой район, поперечное направление 1
- Ветровая, поперечное направление 2
- Ветровая, продольное направление
- Температурный перепад по толщине: свод  $\Delta T = 11,3 \text{ }^\circ\text{C}$ , стены  $\Delta T = 13,4 \text{ }^\circ\text{C}$
- Изменения средних температур по сечению элемента в теплое  $\Delta t_w = 34,7 \text{ }^\circ\text{C}$  и холодное  $\Delta t_c = -5 \text{ }^\circ\text{C}$  время года
- Крановые нагрузки (4 варианта расположения)

Учет проявления ползучести в сжатом бетоне выполнен введением в расчет пониженных значений модуля деформаций бетона

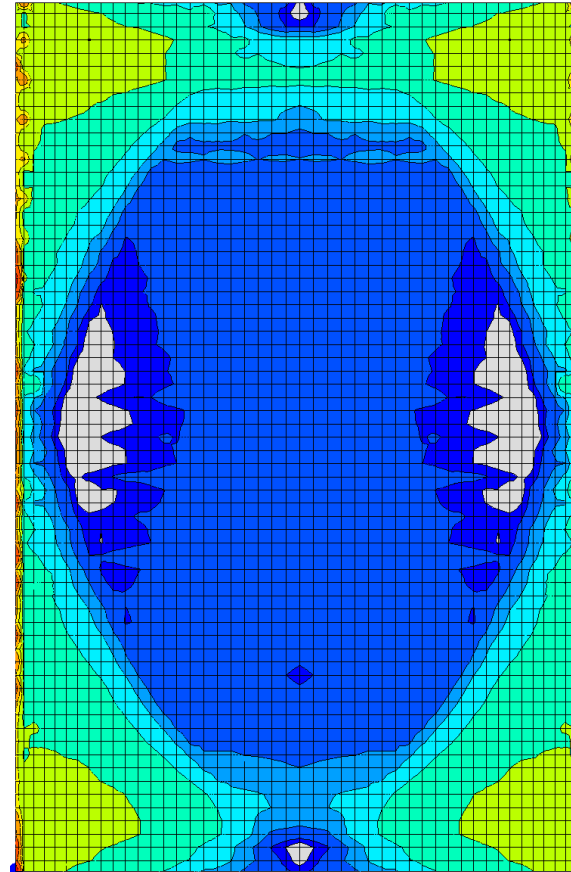
# Армирование по результатам на основные сочетания:



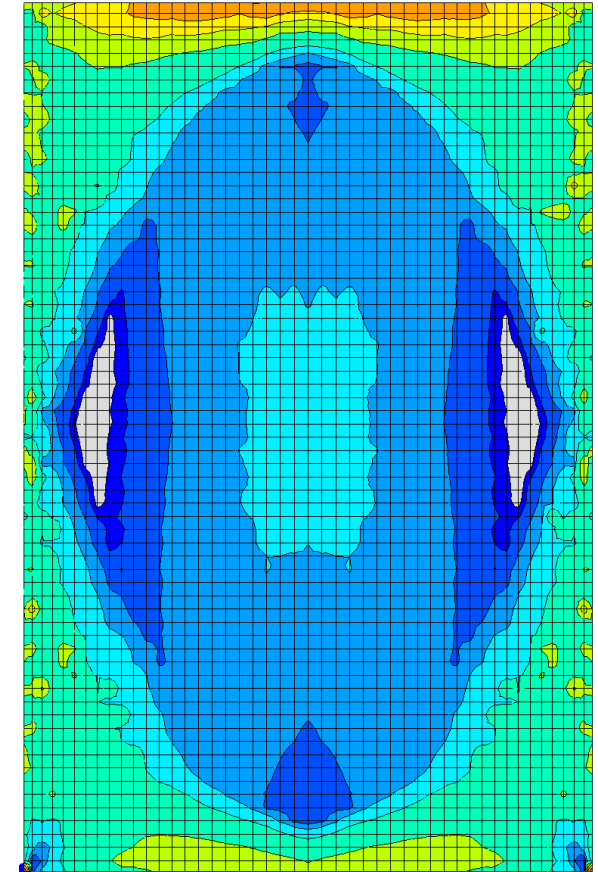
Верхнее армирование в продольном направлении



Верхнее армирование в поперечном направлении



Нижнее армирование в продольном направлении



Нижнее армирование в поперечном направлении

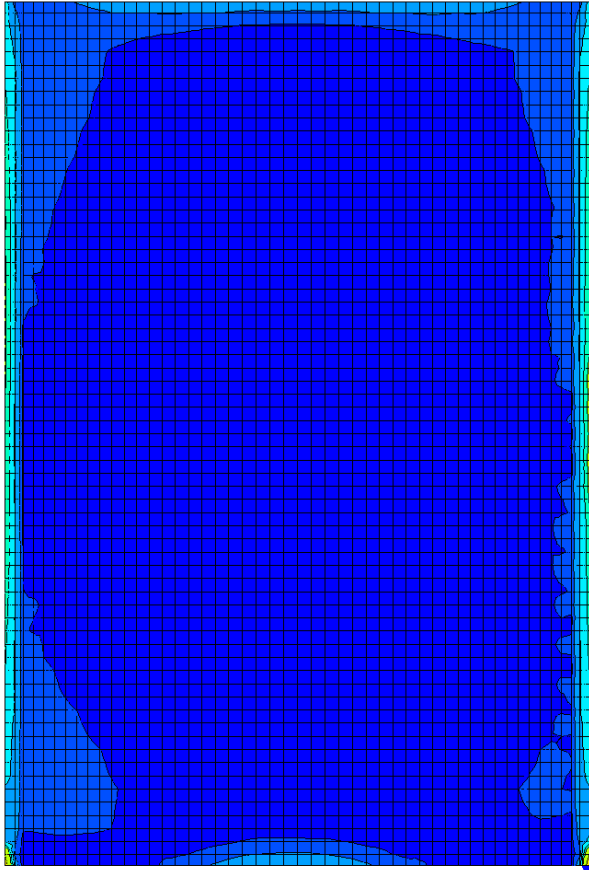


# Нагрузки и воздействия для особого сочетания:

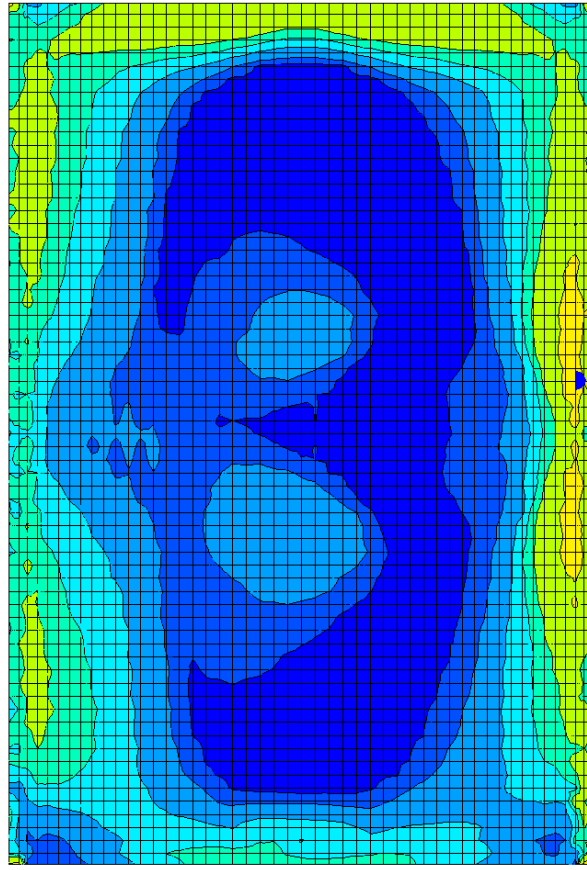
- Сейсмические (МРЗ 7 баллов по шкале MSK-64)
- Экстремальная снеговая
- Экстремальная ветровая
- Действие торнадо
- Действие воздушной ударной волны (3 направления):
  - фронтальная стена 21 кПа,  $k_{\text{дин}} = 1,3$
  - боковые, тыльная стены 10 кПа,  $k_{\text{дин}} = 1,3$
  - покрытие 10 кПа,  $k_{\text{дин}} = 1,3$
- Экстремальный температурный перепад по толщине сечения:
  - свод  $\Delta T = 21,7 \text{ }^\circ\text{C}$ , стены  $\Delta T = 25,7 \text{ }^\circ\text{C}$
- Удар падающего самолета (5 зон приложения ударной нагрузки):
  - $P = 12 \text{ МН}$ ,  $k_{\text{дин}} = 1,3$ , площадь пятна  $S = 12 \text{ м}^2$ , угол удара к горизонту  $\varphi = 45^\circ$

Модуль деформаций бетона в расчетах на особые сочетания принят без снижения

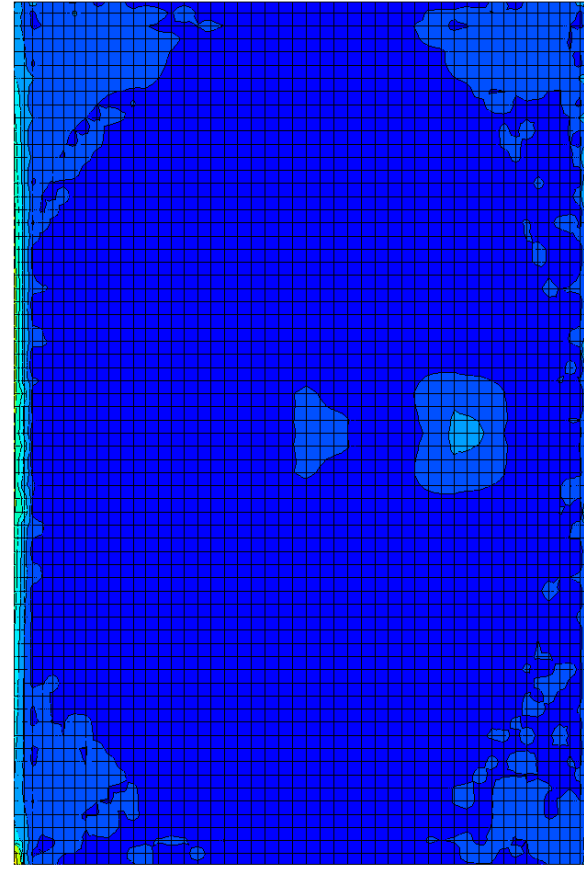
# Армирование по результатам на особые сочетания:



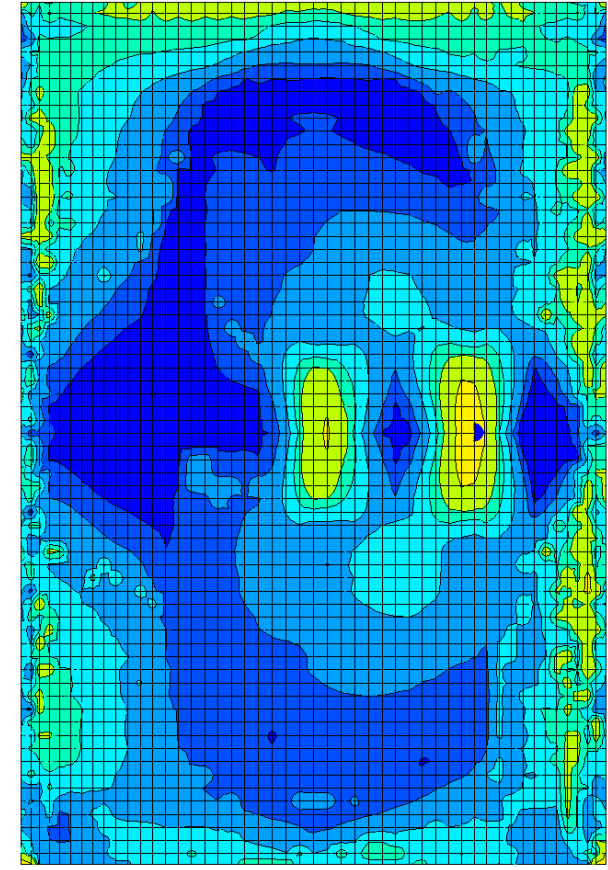
Верхнее армирование в продольном направлении



Верхнее армирование в поперечном направлении



Нижнее армирование в продольном направлении



Нижнее армирование в поперечном направлении

# Литература:

- СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции
- СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия
- Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции. Общий курс. 5-е издание, перер. и доп. – М.: Стройиздат, 1991. – 767 с.
- Кумпяк О. Г., Самсонов В. С., Галяутдинов З. Р., Пахмурин О. Р. Железобетонные и каменные конструкции. – М.: Издательство АСВ, 2014. – 672 с.
- Отчет Лаборатории №4 Тонкостенных и пространственных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева

**ИСА | 08.03.01 | ПГС | 6-й семестр**

# **Железобетонные и каменные конструкции**

## **Практическое занятие №11**



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

www: [mgsu.ru/universityabout/Struktura/Kafedri/ZhBK/](http://mgsu.ru/universityabout/Struktura/Kafedri/ZhBK/)

e-mail: [gbk@mgsu.ru](mailto:gbk@mgsu.ru); [PekinDA@mgsu.ru](mailto:PekinDA@mgsu.ru)

тел.: +7 495 287 49 14 доб. 3036, 3084

Пекин Дмитрий Анатольевич, доцент, к.т.н.