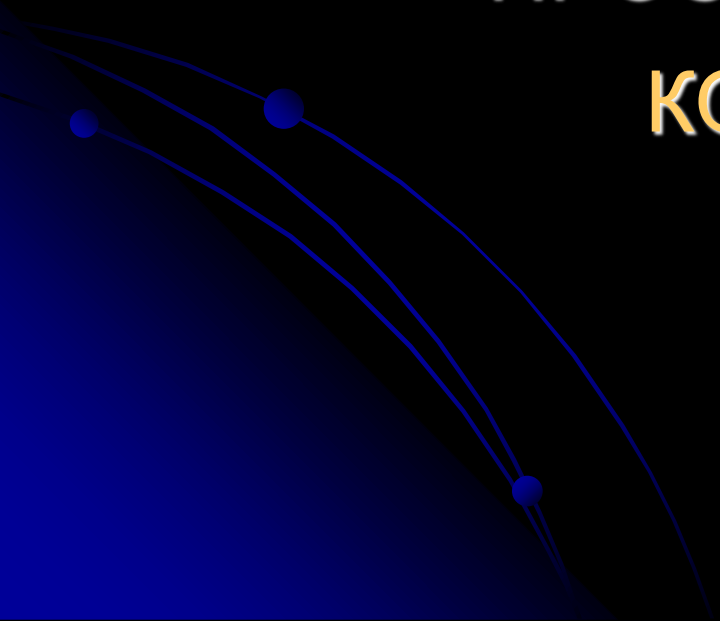


# ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ



## Расчет следует производить по предельным состояниям:

- **Первая группа**

расчеты по прочности и устойчивости  
(в необходимых случаях учитывается деформированная схема)

- **Вторая группа**

расчеты по образованию, раскрытию трещин и по деформациям

Расчеты выполняются для всех возможных воздействий в процессе изготовления, транспортирования, возведения и эксплуатации.

## Усилия и деформации определяют используя различные методы расчета:

- Расчет методами теории упругости – техническая теория оболочек;
- Расчет методами упругопластической теории с использованием прикладной теории деформаций железобетона;
- Расчет по нелинейной деформационной модели;
- Расчет методами предельного равновесия с учетом моделирования и натурных испытаний конструкций;
- Для отдельных сложных пространственных конструкций, для которых нет достаточно достоверных методов расчета, предусматривается обязательное испытание моделей при проектировании

Применительно к расчетам по прочности хорошо разработан кинематический метод теории **предельного равновесия**.

Согласно этой теории рассматривается равновесие оболочки в момент исчерпания несущей способности – перехода в изменяемую систему.

Оболочка представляется в виде нескольких жестких дисков, соединенных по линиям излома пластическими шарнирами.

- Положение линий излома (обобщенных пластических шарниров) зависит от многих факторов и достаточно обстоятельно выявлено экспериментально.



## ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

- На участках, где главные растягивающие напряжения  $\sigma_{prt} > R_{bt}$  арматура должна полностью воспринимать растягивающие усилия
- Не рекомендуется допускать  $\sigma_{prt} > 3R_{bt}$
- Отверстия, имеющие размер более 20 толщин оболочки должны учитываться в расчете конструкции.
- В общем случае прогибы элементов пространственных конструкций должны удовлетворять требованиям СНиП 2.01.07.
- Прогибы оболочек двоякой кривизны и многогранников пролетом до 60 м не должны превышать 1/400, а пролетом более 60 м 1/500 пролета.
- При расчете сжатых железобетонных элементов необходимо учитывать случайный эксцентриситет  $e_o$ .

- В гладких длинных цилиндрических оболочках напряжения, вычисленные от расчетных нагрузок по упругой стадии должны удовлетворять условиям:

$$\sigma < 0.25 \frac{E\delta}{R} \quad (1)$$

$$\tau < 0.3E \left( \frac{\delta}{R} \right)^{3/2} \quad (2)$$

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} + \left( \frac{\tau}{\tau_0} \right)^3 \leq 1 \quad (3)$$

Где  $\sigma_0$  и  $\tau_0$  правые части неравенств (1) и (2).

- В гладких коротких цилиндрических пролетом  $L$  интенсивность полной расчетной нагрузки должна быть не более величины:

$$q = 0.75E \left( \frac{\delta}{R} \right)^2 \frac{1}{(L / \sqrt{\delta R}) - 1} \quad (4)$$

- В гладких пологих и подъемистых оболочках вращения и переноса рекомендуется чтобы интенсивность полной расчетной нагрузки не превышала величины:

$$q = 0.2E \left( \frac{\delta}{R_2} \right)^2 K \quad (5)$$

$R_2/R_1$	<1.5	1.5	1.75	2	2.25	2.5
K	1	1.17	1.4	1.63	1.79	1.98

$R_2$  — больший из радиусов кривизны

- В случае, если проверка, выполненная для гладкой оболочки, не подтверждает ее устойчивость, необходима установка ребер жесткости.

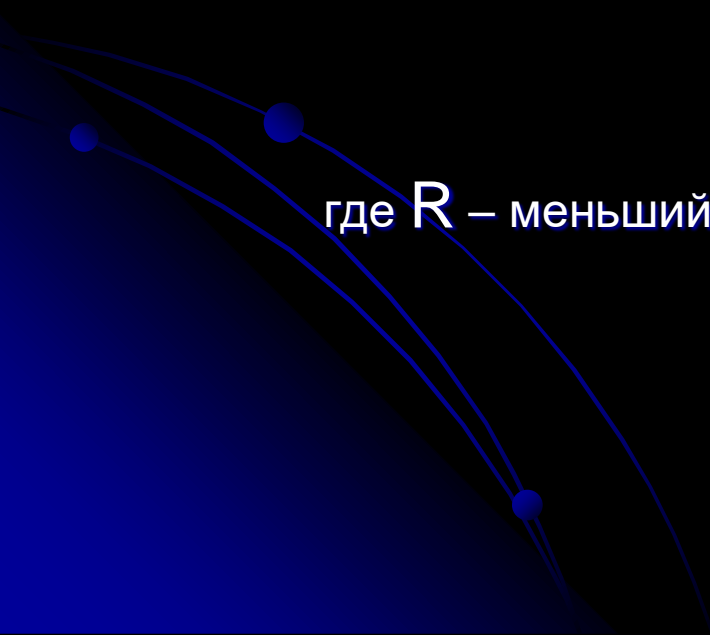
В оболочках двоякой кривизны ребра располагают в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

В цилиндрических оболочках ребра располагают вдоль волны.

- С целью предотвращения местного выпучивания оболочки между ребрами расстояния между ними должно быть не более

$$7\sqrt{R\delta}$$

где  $R$  – меньший радиус кривизны.



# Влияние ползучести бетона

- При длительном действии нагрузок наблюдается рост деформаций вследствие проявления пластических свойств бетона (**ползучести**). Это ведет к уменьшению критических нагрузок и потере устойчивости оболочкой при нагрузках меньших чем при кратковременных испытаниях.
- Практический учет влияния ползучести допускается осуществлять путем замены в ранее приведенных формулах модуля упругости бетона *модулем деформации бетона*

*при непродолжительном действии нагрузок:*

$$E_{b,\tau} = 0.85E_b$$

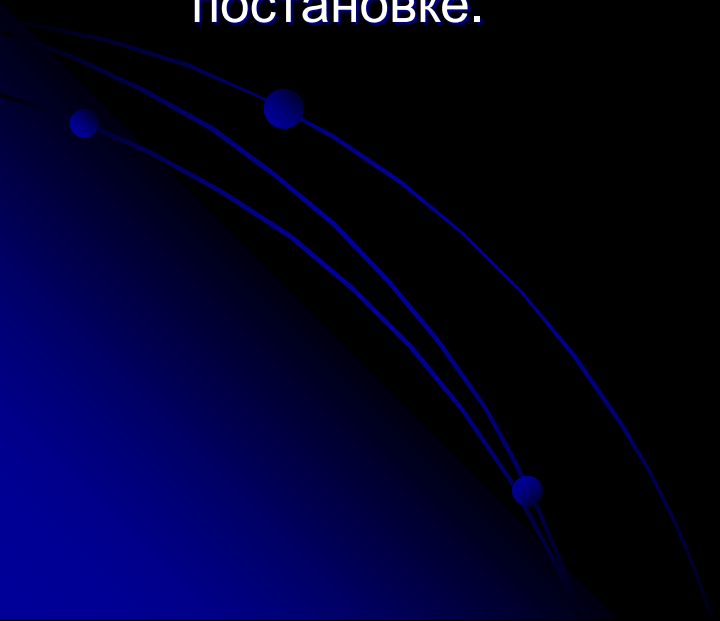
*при продолжительном действии нагрузок:*

$$E_{b,\tau} = \frac{E_b}{1 + \varphi_{b,cr}}$$

где  $\varphi_{b,cr}$  - коэффициент ползучести.

# Температурные воздействия

- Расчет производится неблагоприятные сочетания летних (июльских) и зимних (январских) приведенных температур, которые могут иметь место как в период возведения, так и в период эксплуатации сооружения.
  - Расчетные значения температур по **СНиП 21-01**
  - Расчетные приведенные температуры по **СНиП 2.01-07**
- Расчет на температурное воздействие выполняется в упругой постановке.



# Огнестойкость

- Предел огнестойкости – время в минутах от начала огневого стандартного воздействия до возникновения одного из предельных состояний по огнестойкости (СТО 36554501-006).
- Испытаниями установлено, что при огневом, высокотемпературном нагреве разрушение Ж.Б.К. происходит по тем же схемам, что и при нормальной температуре.  
Поэтому в расчетах используют те же уравнения равновесия и деформаций что и при выводе формул для статического расчета конструкций при обычных условиях эксплуатации.
- Статический расчет предела огнестойкости по потере несущей способности выполняют в соответствии с общими требованиями расчета Ж.Б.К. по первой группе предельных состояний на действие нормативных нагрузок (непродолжительное воздействие) по нормативным характеристикам материалов.

# Прогрессирующее разрушение

- Принятые конструктивные решения должны обеспечить несущую способность конструкции даже при локальных повреждениях и предотвращать лавинообразное обрушение системы вследствие разрушения второстепенных элементов.
- Из расчета и анализа его результатов определяются узлы и связи, в наибольшей степени влияющие на живучесть конструктивной системы.
- Внезапное последовательное выключение из работы этих элементов расчетным путем выявить резервы прочности конструкции и предусмотреть конструктивные мероприятия с целью предотвращения лавинообразного разрушения.
- Все расчеты выполняются с учетом физической, геометрической и конструктивной нелинейности.



# КОНСТРУИРОВАНИЕ

- Монолитные пространственные покрытия проектируют, как правило, с гладкой плитой.
- С целью повышения жесткости поля оболочки допускается предусматривать ребра. Шаг ребер определяют расчетом.
- Стрелу подъема оболочек принимают от  $1/10$  до  $1/5$  пролета.
- Бортовые элементы следует принимать высотой не менее  $1/80$  пролета оболочки. Переход от плиты оболочки к бортовому элементу должен быть плавным в виде **вута** шириной до 10 толщин плиты или в виде **утолщения** плиты в 1,5 – 2 раза.
- Армируют плиту оболочки, как правило, двумя сетками, расположенными симметрично относительно срединной поверхности.

- Если в плите оболочки арматура по расчету не требуется, то ее устанавливают по конструктивным соображениям:

Не менее одной сетки из стержней диаметром 3 – 4 мм с шагом:

$$\begin{cases} S \leq 200 \\ S \leq 4\delta \end{cases}$$

- В бортовых элементах, диафрагмах и затяжках большепролетных конструкций следует размещать предварительно напряженную арматуру.

- **Отверстия и проемы**

Следует стремиться чтобы проемы располагались в пределах расстояния между диафрагмами или ребрами жесткости.

отверстия с размером не более  $15\delta$  допускается устраивать без специального утолщения края плиты, но с установкой по контуру отверстия конструктивной арматуры диаметром не менее 8 мм.

отверстия рекомендуется проектировать круглыми, овальными или многоугольными с округлением углов радиусом не менее  $2\delta$

В зоне отверстий размером более  $15\delta$  края полок должны иметь утолщение и армирование, принимаемое по расчету.

**Утолщение** должно иметь:

высоту  $\geq 3\delta$

ширину  $\geq 2\delta$

площадь бетона и арматуры – не менее чем площадь бетона и арматуры поперечном сечении вырезанной части.

Отверстия, устраиваемые в **растянутых** полках или стенках, должны иметь в ребрах арматуру, достаточную для восприятия усилия, приходившегося на вырезанную часть.

