

6 лекция

# Метод расчета по предельным состояниям

Сущность метода

Классификация нагрузок. Нормативные и расчетные нагрузки

Степень ответственности зданий и сооружений

Нормативные и расчетные сопротивления бетона

Нормативные и расчетные сопротивления арматуры

Основные положения расчета

## Сущность метода

С 1955 г. расчет железобетонных конструкций производится по методу предельных состояний.

Под **предельным** понимают такое **состояние конструкции**, после достижения которого дальнейшая эксплуатация становится невозможной:

вследствие потери несущей способности (**предельные состояния первой группы**),

вследствие недопустимых перемещений и местных повреждений (**предельные состояния второй группы**)

Расчет по предельным состояниям **первой группы** выполняют, чтобы предотвратить:

- **хрупкое, вязкое или иного характера разрушение** (расчет по прочности с учетом в необходимых случаях прогиба конструкции перед разрушением);
- **потерю устойчивости формы конструкции** (расчет на устойчивость тонкостенных конструкций и т. п.) **или ее положения** (расчет на опрокидывание и скольжение подпорных стен, внецентренно нагруженных высоких фундаментов; расчет на всплытие заглубленных или подземных резервуаров и т. п.);
- **усталостное разрушение** (расчет на выносливость конструкций, находящихся под воздействием многократно повторяющейся нагрузки подвижной или пульсирующей: подкрановых балок, шпал, рамных фундаментов и перекрытий под неуравновешенные машины и т.п.);
- **разрушение от совместного воздействия силовых факторов и неблагоприятных влияний внешней среды** (периодического или постоянного воздействия агрессивной среды, действия попеременного замораживания и оттаивания и т. п.).

Расчет по предельным состояниям **второй группы** выполняют, чтобы предотвратить:

- **образование чрезмерного или продолжительного раскрытия трещин** (если по условиям эксплуатации образование или продолжительное раскрытие трещин допустимо);
- **чрезмерные перемещения** (прогибы, углы поворота, углы перекоса и амплитуды колебаний).

**Расчет** по предельным состояниям конструкции в целом, а также отдельных ее элементов или частей **производится для всех этапов: изготовления, транспортирования, монтажа и эксплуатации; при этом расчетные схемы** должны отвечать принятым конструктивным решениям и каждому из перечисленных

**Расчет по первой группе предельных состояний является основным и используется при подборе сечений.**

**Расчет по второй группе производится для тех конструкций, которые, будучи прочными, теряют свои эксплуатационные качества вследствие:**

**чрезмерных прогибов (балки больших пролетов при относительно малой нагрузке),**

**образования трещин (резервуары, напорные трубопроводы)**

**чрезмерного раскрытия трещин, приводящего к преждевременной коррозии арматуры.**

Переход конструкции в то или иное предельное состояние зависит от многих факторов, наиболее важными из которых являются:

внешние нагрузки и воздействия;

механические характеристики бетона и арматуры;

условия работы материалов и конструкции.

Каждый фактор характеризуется изменчивостью в процессе эксплуатации, причем **изменчивость каждого фактора** в отдельности не зависит от остальных и **является процессом случайным**.

Так нагрузки и воздействия могут отличаться от заданной вероятности превышения средних значений, а механические характеристики материалов – от заданной вероятности снижения средних значений.

В расчетах по предельным состояниям **учитывают статистическую изменчивость нагрузок и прочностных характеристик материалов**, а также различные неблагоприятные или благоприятные условия работы.

**Нагрузки, механические характеристики материалов и расчетные коэффициенты *нормируют*.**

Значения нагрузок, сопротивления бетона и арматуры устанавливаются по главам:

СНиП 2.01.07-85\* Нагрузки и воздействия-М.: 2001.

СНиП 2.03.01-84\* Бетонные и железобетонные конструкции», М: 1989.



## Классификация нагрузок.

В зависимости от продолжительности действия нагрузки делят на:

постоянные

временные

длительные

кратковременные

особые

## Постоянные:

- нагрузки от веса несущих и ограждающих конструкций зданий и сооружений,

- массы и давления грунтов;

- воздействия предварительного напряжения железобетонных конструкций.

## Временные

### Длительные:

нагрузки от веса стационарного оборудования на перекрытиях - станков, аппаратов, двигателей, емкостей и т. п.;

давление газов, жидкостей, сыпучих тел в емкостях;

нагрузки в складских помещениях, холодильниках, архивах библиотеках и подобных зданиях и сооружениях;

установленная нормами часть временной нагрузки в жилых домах, служебных и бытовых помещениях;

длительные температурные технологические воздействия от стационарного оборудования;

нагрузки от одного подвесного или одного мостового крана, умноженные на коэффициенты: 0,5 для кранов среднего режима работы и на 0,7 для кранов тяжелого режима работы;

снеговые нагрузки для III—IV климатических районов с коэффициентами 0,3-0,6.

## Временные

### Кратковременные:

нагрузки от веса людей, деталей, материалов в зонах обслуживания и ремонта оборудования - проходах и других свободных от оборудования участках;

часть нагрузки на перекрытиях жилых и общественных зданий;

нагрузки, возникающие при изготовлении, перевозке и монтаже элементов конструкций;

нагрузки от подвесных и мостовых кранов, используемых при возведении или эксплуатации зданий и сооружений;

снеговые и ветровые нагрузки;

температурные климатические воздействия.

## Временные

**Особые:**

**сейсмические и взрывные воздействия;**

**нагрузки, вызываемые неисправностью или поломкой оборудования и резким нарушением технологического процесса (например, при резком повышении или понижении температуры и т. п.);**

**воздействия неравномерных деформаций основания, сопровождающиеся коренным изменением структуры грунта (например, деформации просадочных грунтов при замачивании или вечномерзлых грунтов при оттаивании);**

**и др.**

## Нормативные нагрузки

Нормативные нагрузки **устанавливаются** **нормами** по заранее заданной вероятности превышения средних значений или по номинальным значениям.

**Нормативные постоянные нагрузки** принимаются по проектным значениям геометрических и конструктивных параметров и по средним значениям плотности.

**Нормативные временные технологические и монтажные нагрузки** устанавливаются по наибольшим значениям, предусмотренным для нормальной эксплуатации;

**Снеговые и ветровые** устанавливаются по средним из ежегодных неблагоприятных значений или по неблагоприятным значениям, соответствующим определенному среднему периоду их повторений.

## Расчетные нагрузки

**Расчетные нагрузки** для расчета конструкций на прочность и устойчивость **определяют умножением нормативной нагрузки на коэффициент надежности по нагрузке  $\gamma_f$**  обычно больший единицы, например:

$$g = g_n \cdot \gamma_f$$



## Коэффициент надежности по нагрузке

- от веса бетонных и железобетонных конструкций  $\gamma_f = 1,1$

- от веса конструкций из бетонов на легких заполнителях (со средней плотностью  $1800 \text{ кг/м}^3$  и менее) и различных стяжек, засыпок выполняемых в заводских условиях,  $\gamma_f = 1,2$

- то же на монтаже  $\gamma_f = 1,3$

- от различных временных нагрузок в зависимости от их значения  $\gamma_f = 1,2-1,4$

**Расчетные нагрузки** для расчета конструкций по деформациям и перемещениям **(по второй группе предельных состояний)** принимают равными нормативным значениям с коэффициентом  $\gamma_f = 1$

## Сочетание нагрузок

На сооружение действует одновременно несколько нагрузок. Одновременное достижение их максимальных значений маловероятно. Поэтому расчет производится на различные неблагоприятные сочетания их, с введением **коэффициента сочетаний**.

Различают два вида сочетаний:

**основные сочетания**, состоящие из постоянных, длительных и кратковременных нагрузок;

**особые сочетания**, состоящие из постоянных, длительных, возможных кратковременных и одной из особых нагрузок.

## Если в **основное сочетание**

- входит только одна кратковременная нагрузка, **коэффициент сочетаний** принимается равным 1,0

- при учете двух и более кратковременных нагрузок последние умножаются на 0,9.

## При расчете конструкций на **особые сочетания**

значения кратковременных нагрузок или соответствующих им усилий должны умножаться на коэффициент сочетаний, равный 0,8, кроме случаев, оговоренных в нормах проектирования зданий и сооружений в сейсмических районах.

## Степень ответственности зданий и сооружений

При проектировании следует учитывать степень ответственности и капитальности зданий и сооружений.

Учёт осуществляется введением коэффициента надёжности по назначению  $\gamma_n$ , который принимается в зависимости от класса сооружений.

Установлены **три класса** ответственности зданий и сооружений:

**класс I,  $\gamma_n = 1$**  - здания и сооружения, особо важного народнохозяйственного и(или) социального значения, такие, как: главные корпуса ТЭС, АЭС, телевизионные башни, промышленные трубы высотой более 200 м, резервуары для нефтепродуктов вместимостью более 10 тыс. м<sup>3</sup>, крытые спортивные сооружения с трибунами, здания театров, кинотеатров, цирков, рынков, учебных заведений, детских дошкольных учреждений, музеев, государственных архивов и т. п.;

**класс II,  $\gamma_n = 0,95$** —здания и сооружения промышленного и гражданского строительства (не входящие в классы I и III);

**класс III,  $\gamma_n = 0,9$** —различные склады без процессов сортировки и упаковки, одноэтажные жилые дома, временные здания и сооружения.

## Нормативные и расчетные сопротивления бетона

Прочностные характеристики бетона обладают **изменчивостью**.

Даже образцы из одной партии бетона покажут при испытании разную прочность, что объясняется неоднородностью его структуры и неодинаковыми условиями испытаний. На изменчивость прочности бетона в конструкциях также влияют качество оборудования, квалификация рабочих, вид бетона и другие факторы.

Из всех возможных значений прочности в расчет необходимо вводить такое, которое с необходимой надежностью обеспечивает безопасную эксплуатацию конструкций. Установить его помогают **методы теории вероятностей**.

## Нормативные сопротивления бетона

Нормативными сопротивлениями бетона являются: сопротивление осевому сжатию призм **призменная прочность**  $R_{bn}$ , сопротивление **осевому растяжению**  $R_{btn}$ , которые определяются в зависимости от класса бетона по прочности, при обеспеченности 0,95.

**Нормативная призменная прочность** определяется по эмпирической формуле

$$R_{bn} = B (0,77 - 0,00125B),$$

но не менее  $0,72 B$ .

Нормативное сопротивление осевому **растяжению**  $R_{btn}$  определяется с понижающим коэффициентом

$$R_{btn} = 0,5 \cdot k \sqrt[3]{B^2}$$

где  $k=0,8$  - для бетонов класса В35 и ниже,  
 $k=0,7$  - для бетонов класса В 40 и выше.



## Расчетные сопротивления бетона

Расчетные сопротивления бетона для предельных состояний **первой группы**  $R_b$  и  $R_{bt}$  определяют делением нормативных значений на коэффициенты надежности бетона при сжатии  $\gamma_{bc}$  или  $\gamma_{bt}$  при растяжении.

$$R_b = \frac{R_{bn}}{\gamma_{bc}} \quad R_{bt} = \frac{R_{btn}}{\gamma_{bt}}$$

Для тяжелого бетона  $\gamma_{bc} = 1,3$ ;  $\gamma_{bt} = 1,5$

Расчетные сопротивления бетона для предельных состояний **второй группы**  $R_{b,ser}$  и  $R_{bt,ser}$  определяются при коэффициентах надежности  $\gamma_{bc} = \gamma_{bt} = 1$ , т.е. принимаются равными нормативным сопротивлениям за исключением случаев расчета по образованию трещин.

При расчете элементов конструкций расчетные сопротивления бетона в необходимых случаях умножаются на **коэффициенты условий работы**  $\gamma_{bi}$ , учитывающие следующие факторы: длительность действия нагрузки, условия изготовления, характер работы конструкции, способы изготовления и т.п.

## Нормативные и расчетные сопротивления арматуры

**Нормативные сопротивления арматуры принимают равными наименьшему контролируемому значению с обеспеченностью 95%:**

для стержневой арматуры, высокопрочной проволоки и канатов – физическому  $\sigma_y$  или условному  $\sigma_{0,2}$  пределу текучести;

для обыкновенной арматурной проволоки – условному пределу текучести.  $\sigma_{0,2} = \sigma_u$

**Расчетные сопротивления** арматуры определяются по формуле:

$$R_s = \frac{R_{sn}}{\gamma_s}$$

где  $\gamma_s$  - коэффициент надежности по арматуре  $\gamma_s = 1,05-1,2$  при расчете по предельным состояниям первой группы и  $\gamma_s = 1$  - второй группы

Расчетные сопротивления арматуры **сжатию**  $R_{sc}$  принимаются равными соответствующим расчетным сопротивлениям растяжению  $R_s$ , но не более 400МПа.

При расчете конструкций расчетные сопротивления  $R_s$ ,  $R_{sw}$ ,  $R_{sc}$  следует умножить **на коэффициенты условий работы  $\gamma_{si}$** , учитывающие возможность неполного использования ее прочностных свойств.

## Основные положения расчета

**Предельные состояния первой группы.** В расчетах на прочность исходят из III стадии напряженно-деформированного состояния. Сечение конструкции обладает необходимой прочностью, если усилия от расчетных нагрузок  $T$  не превышают усилий, воспринимаемых сечением  $T_{\text{И}}$  и при расчетных сопротивлениях материалов с учетом коэффициента условий работы.

$$T(g_n, u_n, \gamma_f, \gamma_n, C) \leq T_{\text{И}}(S, R_{bn}, \gamma_b, \gamma_{bi}, R_{sn}, \gamma_s, \gamma_{si})$$

или

$$T(g, u, \gamma_n, C) \leq T_{\text{И}}(S, R_b, \gamma_{bi}, R_s, \gamma_{si})$$

Расчет конструкций по предельным состояниям **второй группы** состоит в удовлетворении следующих условий:

1) **по перемещениям** – заключается в том, чтобы прогибы от нормативной нагрузки не превышали предельных значений прогибов, установленных нормами для данного элемента:

$$f \leq [f_{lim}]$$

2) **по образованию трещин** – усилие от расчетной или нормативной нагрузки должно быть меньше усилия, при котором возникают трещины:

$$T \leq R_{crc}$$

3) **по раскрытию трещин** – заключается в определении ширины раскрытия трещин на уровне растянутой арматуры и сравнения ее с предельной шириной раскрытия:

$$a_{crc} \leq [a_{crc}]$$