

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 подвешного 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 γ_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 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 γ_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. м³, 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 γ_{bc} или γ_{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** γ_{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 σ_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 γ_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 γ_{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:

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