

Расчет железобетонных  
конструкций по  
пределельным состояниям.



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

- потери способности сопротивляться внешним нагрузкам  
или
- получения недопустимых перемещений или местных повреждений.

В соответствии с этим установлены **две группы предельных состояний**:

- **первая (ПС1)** - по несущей способности и пригодности к эксплуатации;
- **вторая (ПС2)** - по пригодности к нормальной эксплуатации.



*Основная идея метода расчета по ПС* заключается в обеспечении условия, чтобы даже в тех редких случаях, когда

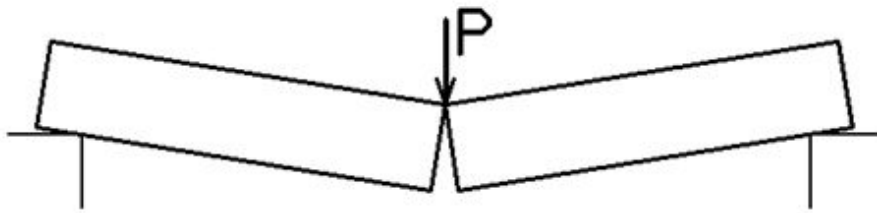
- на конструкцию действуют максимально возможные нагрузки,
- прочность бетона и арматуры минимальна,
- условия эксплуатации наиболее неблагоприятны, конструкция не разрушилась и не получила бы недопустимых прогибов или трещин

При расчете по ПС удастся получать более экономичные решения, чем при расчете по ранее применявшимся методам.

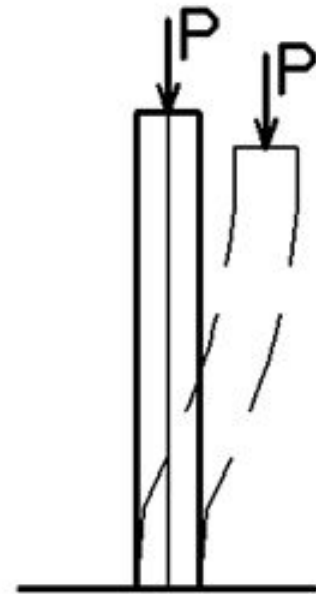


Расчет по ПС1 выполняется с целью предотвращения:

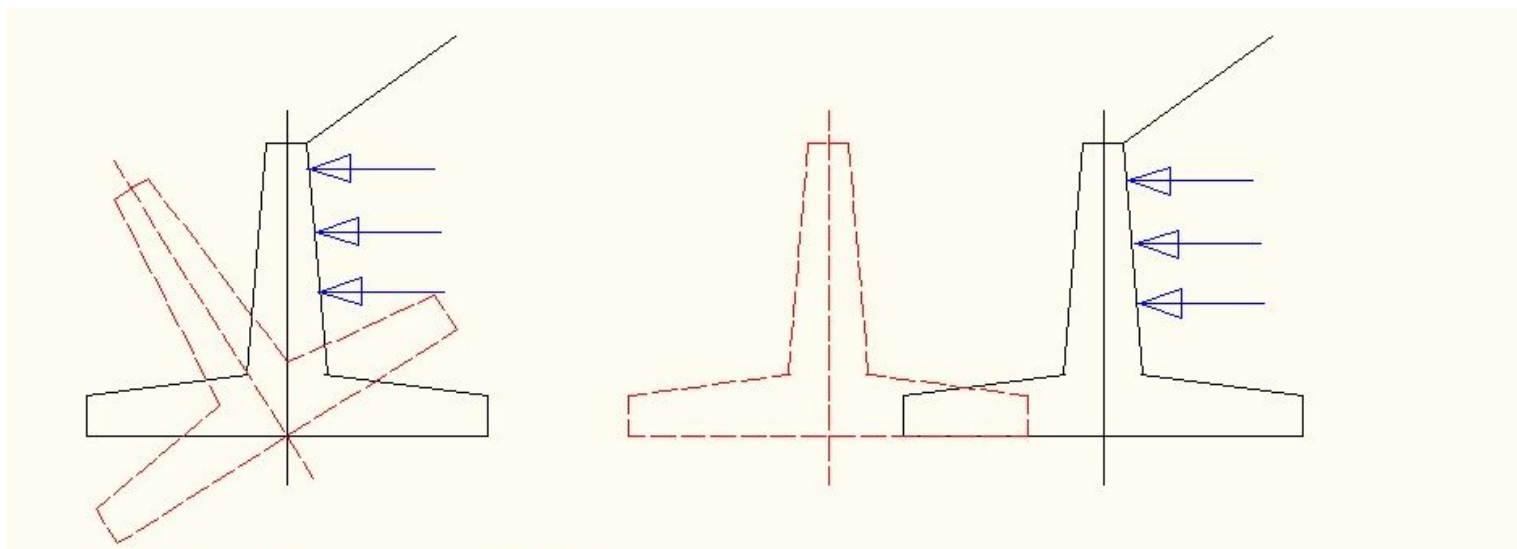
- разрушения (расчет по прочности);



- потери устойчивости формы (расчет на продольный изгиб);



- потери устойчивости положения (расчет на опрокидывание или скольжение);

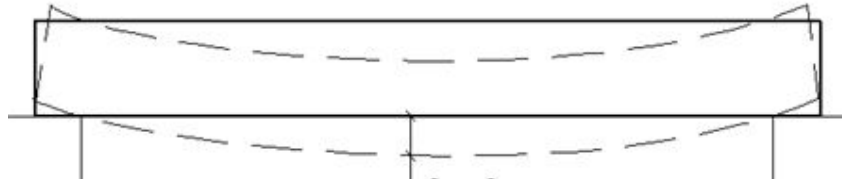


- усталостного разрушения (расчет на выносливость).



**Расчет по ПС2** имеет цель не допустить:

- развитие чрезмерных деформаций (прогибов);



- исключить возможность образования трещин в бетоне (если не допускается образование трещины);
- ограничить ширину раскрытия трещин;



- в необходимых случаях проверку закрытия трещин после снятия части нагрузки.



*Расчет по ПС1* является **основным** и используется при подборе сечений.

*Расчет по ПС2* является **вспомогательным**, производится для тех конструкций, которые, будучи прочными, теряют пригодность по отдельным критериям, предъявляемым требованиями к нормальной эксплуатации (например, повреждения ненесущих конструкций, затруднение эксплуатации, негативное воздействие на людей)



# Основные положения расчета





При расчете по **ПС1** должно выполняться условие:

$$F \leq F_u;$$

$F$ - усилие в элементе от расчетных нагрузок;

$F_u$  – предельное усилие, воспринимаемое сечением.

$$F = P_j \cdot N_j \cdot \gamma_f \cdot \gamma_n \cdot \psi_i$$

$$F_u = f(R_{bn}, R_{sn}, A_b, A_s, \gamma_b, \gamma_s, \gamma_{bi}, \gamma_{si})$$

$P_j$  – величина  $j$ -й нагрузки;  $N_j$ - усилие от единичного значения  $j$ -й нагрузки;

$R_{bn}, R_{sn}$  – нормативные сопротивления, соответственно бетона и арматуры;

$A_b, A_s$  - площади сечения, соответственно, бетона и арматуры;

$\gamma_f, \gamma_n, \psi_i, \gamma_b, \gamma_s, \gamma_{bi}, \gamma_{si}$  – коэффициенты метода предельных состояний.



**Нагрузки**, действующие на конструкцию, и **прочностные характеристики материалов**, из которых конструкция изготовлена, обладают *изменчивостью* и могут отличаться от средних значений.

Поэтому для обеспечения того, чтобы за время нормальной эксплуатации сооружения не наступило ни одного из предельных состояний, вводится **система расчетных коэффициентов**, учитывающих возможные отклонения (в неблагоприятную сторону) различных (факторов, влияющих на надежную работу конструкции:



Коэффициенты учитывают:

- **надежности по нагрузке  $\gamma_f$**  - изменчивость нагрузок или воздействий;
- **надежности по материалу** бетону  $\gamma_b$  и арматуре  $\gamma_s$ , - попадание материалов с прочностью ниже нормативной;
- **надежности по назначению** конструкции  $\gamma_n$ , - степень ответственности и капитальности зданий и сооружений;
- **условий работы  $\gamma_{bi}$  и  $\gamma_{si}$** , некоторые особенности условий работы материалов и конструкций в целом, которые не могут быть отражены в расчетах прямым путем;
- **сочетаний нагрузок  $\psi_i$**  - малую вероятность одновременного действия наибольших значений расчетных нагрузок



**ПС2** характеризуется такими признаками, при которых эксплуатация конструкции или сооружения хотя и затруднена, но полностью не исключается, т. е. конструкция становится **непригодной** лишь к **нормальной эксплуатации**:

❖ *по образованию трещин:  $F_n \leq F_{crc}$*

$F_n$  - усилие от нормативной нагрузки;

$F_{crc}$  - усилие при котором возникают трещины в элементе;

❖ *по раскрытию трещин:  $a_{crc} \leq a_{crc,u}$*

$a_{crc}$  – ширина раскрытия трещин от внешних нагрузок;

$a_{crc,u}$  – предельно допустимая ширина раскрытия трещины;

❖ *по прогибам и перемещениям:  $f \leq f_u$*

$f$  – прогиб от нормативной нагрузки;

$f_u$  – предельно допустимое значение прогиба;



# КРИТЕРИИ ПРИГОДНОСТИ К НОРМАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

*Предельные прогибы  $f_u$*  ограничены требованиями:

- эстетико-психологическими;
- конструктивными;
- технологическими;
- физиологическими.

*Предельная ширина раскрытия трещин  $a_{crs,u}$*  ограничивается требованиями:

- обеспечения сохранности арматуры;
- обеспечения непроницаемости конструкций.




# Нагрузки и воздействия



При проектировании учитывают **нагрузки**, возникающие как при **эксплуатации** сооружений, а также при **изготовлении, хранении, перевозке и возведении** строительных конструкций.

В расчетах используют *нормативные* и *расчетные* значения нагрузок.

- ▣ **нормативными** называют установленные нормами наибольшие значения нагрузок, которые могут действовать на конструкцию при ее нормальной эксплуатации,.
  - ▣ **расчетной** называется нагрузка, принимаемая с учетом отклонения от нормативной в большую или меньшую сторону. Это отклонение учитывается коэффициентом надежности по нагрузке  $\gamma_f$
- 

Расчет конструкции производится на расчетные нагрузки  $q$  :

$$q = q_n \gamma_f,$$

где  $q_n$  - нормативная нагрузка;

$\gamma_f$  - коэффициент надежности по нагрузке.

При расчете по ПС1  $\gamma_f$  принимают:

- для постоянных нагрузок  $\gamma_f = 1,1 \dots 1,3$ ;
- временных  $\gamma_f = 1,2 \dots 1,6$ ,
- при расчете на устойчивость положения (опрокидывание, скольжение, всплытие), когда уменьшение веса конструкции ухудшает условия ее работы, принимают  $\gamma_f < 1$ .

Расчет конструкций по ПС2, учитывая меньшую опасность их наступления, производят на расчетные нагрузки при  $\gamma_f = 1$ , т.е. равные нормативным.



Нагрузки и воздействия на здания и сооружения могут быть *постоянными* и *временными*.

Последние в зависимости от продолжительности действия подразделяются на *длительные*, *кратковременные* и *особые*.



К **постоянным  $P_d$**  нагрузкам относят:

- вес частей зданий, в т. ч. вес несущих и ограждающих строительных конструкций;
- вес и давление грунтов ;
- усилия от предварительного напряжения.

К **длительным  $P_l$**  нагрузкам относят:

- вес временных перегородок;
- вес оборудования;
- давление газов, жидкостей и сыпучих тел;
- нагрузки от складироваемых материалов;
- температурные технологические воздействия от стационарного оборудования;
- пониженные нагрузки;
- деформации основания.



К **кратковременным нагрузкам  $P_t$**  относят:

- нагрузки от оборудования, в пускоостановочном, переходном и испытательном режимах;
- вес людей, ремонтных материалов;
- нагрузки от людей, животных, оборудования на перекрытия зданий;
- нагрузки от подъемно-транспортного оборудования, включая вес грузов;
- климатические (снеговые, ветровые, температурные и гололедные) нагрузки.

К **особым  $P_s$**  нагрузкам относят:

- сейсмические воздействия;
- взрывные воздействия;
- нагрузки, вызываемые поломкой оборудования;
- деформации основания, сопровождающиеся изменением структуры грунта;
- нагрузки, обусловленные пожаром;
- нагрузки от столкновений транспортных средств с частями сооружения.



Здания и сооружения подвергаются одновременному действию различных нагрузок, поэтому расчет их должен выполняться с учетом **наиболее неблагоприятного сочетания этих нагрузок**. В зависимости от состава учитываемых нагрузок различают:

- ▣ *основные сочетания*, состоящие из постоянных, длительных и кратковременных нагрузок;
- ▣ *особые сочетания*, состоящие из постоянных, длительных, кратковременных и одной из особых нагрузок.



Малая вероятность одновременного появления наибольших нагрузок или усилий учитывается **коэффициентами сочетаний**  $\psi_1$  и  $\psi_2$ .

В зависимости от учитываемого состава нагрузок различают:

а) **основные сочетания** нагрузок, состоящие из постоянных, длительных и кратковременных

$$C_m = P_d + (\psi_{l1}P_{l1} + \psi_{l2}P_{l2} + \psi_{l3}P_{l3} + \dots) + (\psi_{t1}P_{t1} + \psi_{t2}P_{t2} + \psi_{t3}P_{t3} + \dots);$$

б) **особые сочетания** нагрузок, состоящие из постоянных, длительных, кратковременных и одной из особых нагрузок

$$C_s = C_m + P_s,$$

где  $\psi_{li}$  ( $l = 1, 2, 3, \dots$ ) - коэффициенты сочетаний для длительных нагрузок,  $\psi_l = 0,95 - 1,0$ ;

$\psi_{ti}$  ( $I = 1, 2, 3, \dots$ ) - коэффициенты сочетаний для кратковременных нагрузок  $\psi_{t1} = 0,7 - 1,0$ ;



Значения расчетных нагрузок умножаются на **коэффициент надежности по ответственности** конструкции, учитывающий степень **материального и социального ущерба** при аварии зданий и сооружений.

- для зданий и сооружений (ЗиС) **повышенного** уровня ответственности  $\gamma_n = 1,1$ ;
- для ЗиС **нормального** уровня ответственности  $\gamma_n = 1$ ;
- для ЗиС **пониженного** уровня ответственности  $\gamma_n = 0,8$ .

