



# Томский государственный архитектурно-строительный университет

Кафедра

«Железобетонные и каменные конструкции»

Дисциплина

«ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ»

Часть I

Курс лекций

**Тема 2. Основные положения расчета железобетонных конструкций по предельным состояниям**

**Лекция 7.**

Составитель: В. В. Родевич

**Сущность метода расчета по предельным состояниям**

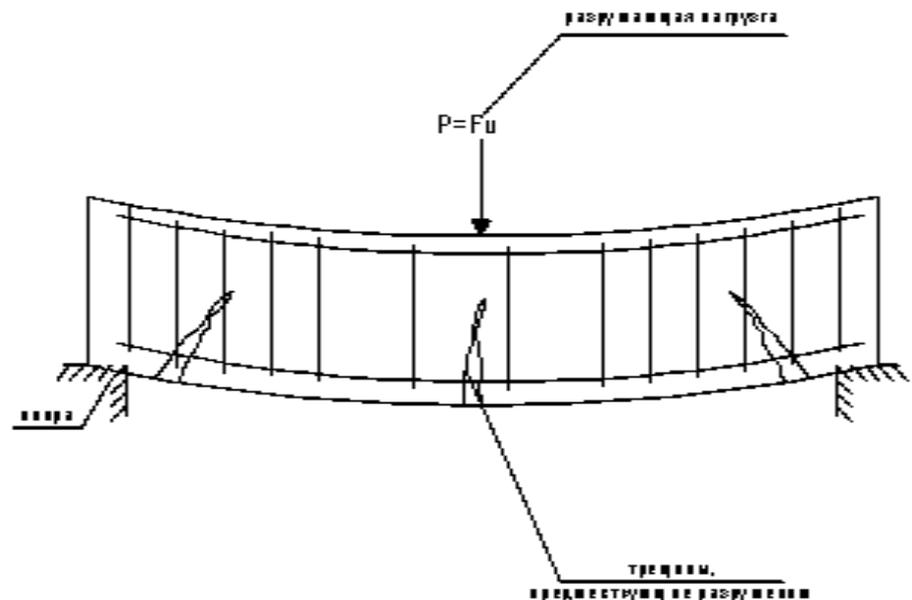
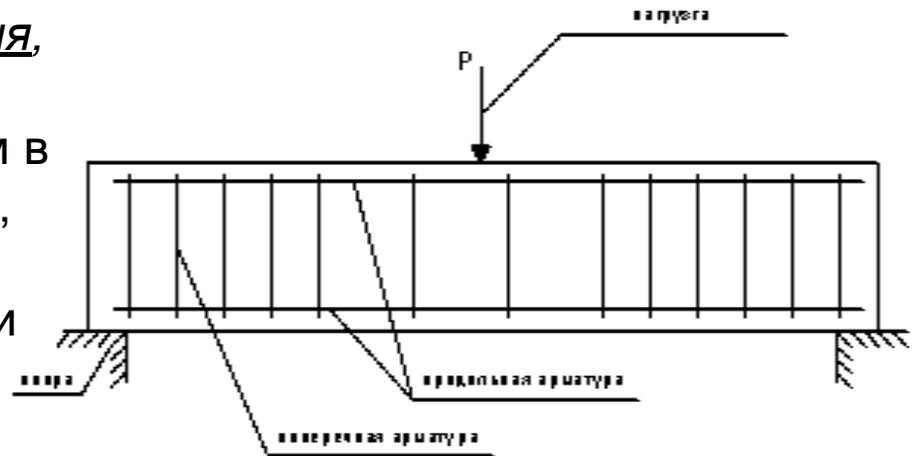
Вопросы:

1. Сущность метода
2. Нормативные и расчетные сопротивления бетона и арматуры
3. Коэффициенты запаса
4. Расчет железобетонных конструкций по первой и второй группе предельных состояний
5. Категории требований к трещиностойкости конструкций
6. Нагрузки на строительные конструкции. Сочетания нагрузок

# 1. Сущность метода

Предельным считаются состояния, при которых конструкции перестают удовлетворять предъявляемым к ним в процессе эксплуатации требованиям, т.е. теряют способность сопротивляться внешним нагрузкам и воздействиям или получают недопустимые перемещения или местные *повреждения*.

Прочность сечений элементов определяется на стадии разрушения, но безопасность работы конструкции под нагрузкой обеспечивается системой расчетных (поправочных) коэффициентов



Группы предельных состояний  
железобетонных конструкций

I группа  
предельных состояний

по потере несущей способности  
(непригодности к эксплуатации)

- Расчет на прочность  
(хрупкое, пластичное разрушение  
нормальных и наклонных сечений);
- Расчет на устойчивость  
(включает в себя расчет плоской формы  
изгиба, расчет на опрокидывание,  
скольжение, всплытие заглубленных и  
полузаглубленных сооружений,  
подверженных давлению грунтовых вод)
- Расчет на выносливость  
(усталостное разрушение конструкций,  
находящихся под воздействием  
многократно повторяющихся нагрузок).

II группа  
предельных состояний

по непригодности  
к нормальной эксплуатации

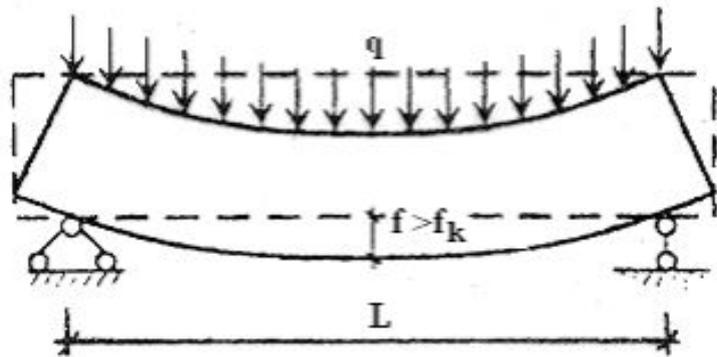
- Расчет по трещиностойкости  
(чрезмерное раскрытие трещин  
в конструкциях);
- Расчет по деформациям  
(чрезмерные прогибы, углы  
поворота, углы перекоса,  
амплитуды колебаний)

Расчет по предельным состояниям конструкции в целом, а также отдельных ее элементов или частей выполняют для всех этапов: изготовления, транспортирования, монтажа и эксплуатации.

При этом расчетные схемы должны отвечать принятым конструктивным решениям и каждому из перечисленных этапов.

Между 2 группами предельных состояний есть качественная разница:

- 1 группа защищает от обрушения;
- 2 группа отвечает за комфортность эксплуатации.



Пример конструкции, не отвечающей требованиям нормальной эксплуатации

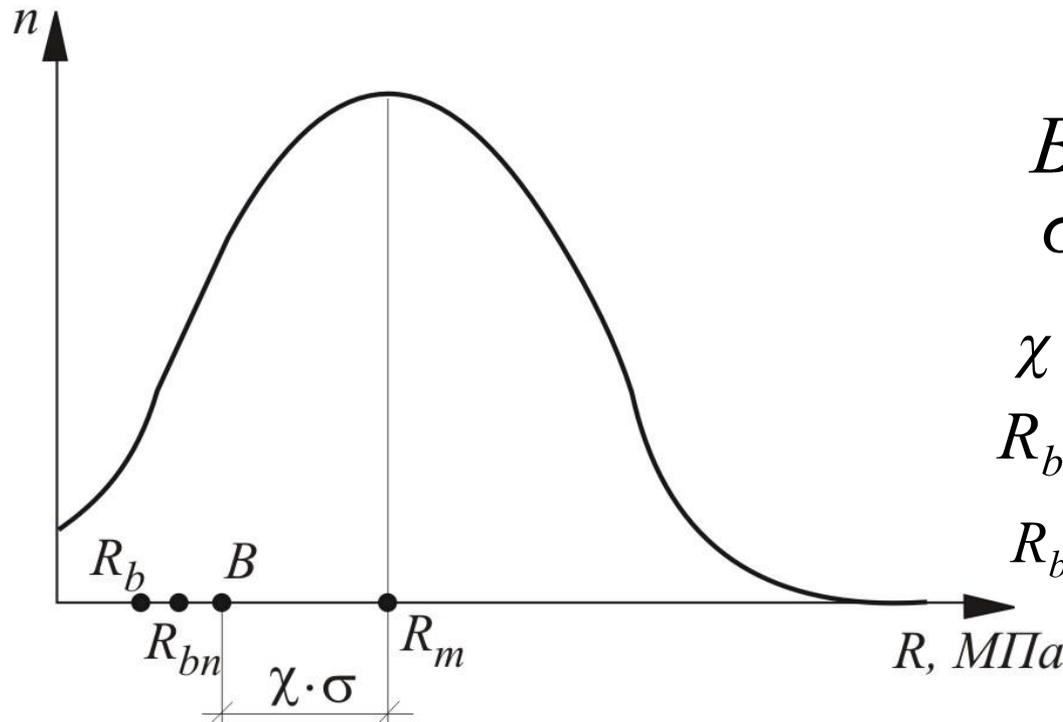
Существуют некоторые ограничения для 2 группы – ограничения по деформациям:

- *конструктивные* – прогибы должны быть такими, чтобы не мешать эксплуатации других конструкций;
- *технологические* – прогибы должны быть такими, чтобы не мешать работе технологического оборудования;
- *эстетические* – прогибы должны быть такими, чтобы не мешать комфортности людей.

## 2. Нормативные и расчетные сопротивления бетона и арматуры

### БЕТОН

Прочностные характеристики бетона обладают определенной изменчивостью. Из всех возможных значений в расчет необходимо вводить такое, которое с необходимой надежностью обеспечит безопасную эксплуатацию конструкции. Установить его помогают методы теории вероятностей. Изменчивость прочностных свойств подчиняется нормальному закону распределения (закону Гаусса)



Класс бетона

$$B = R_m - \chi \sigma$$

$\sigma$  -среднеквадратическое отклонение, определяемое по формуле:

$$\chi = 1.64 \text{ -Показатель надежности}$$

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

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

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

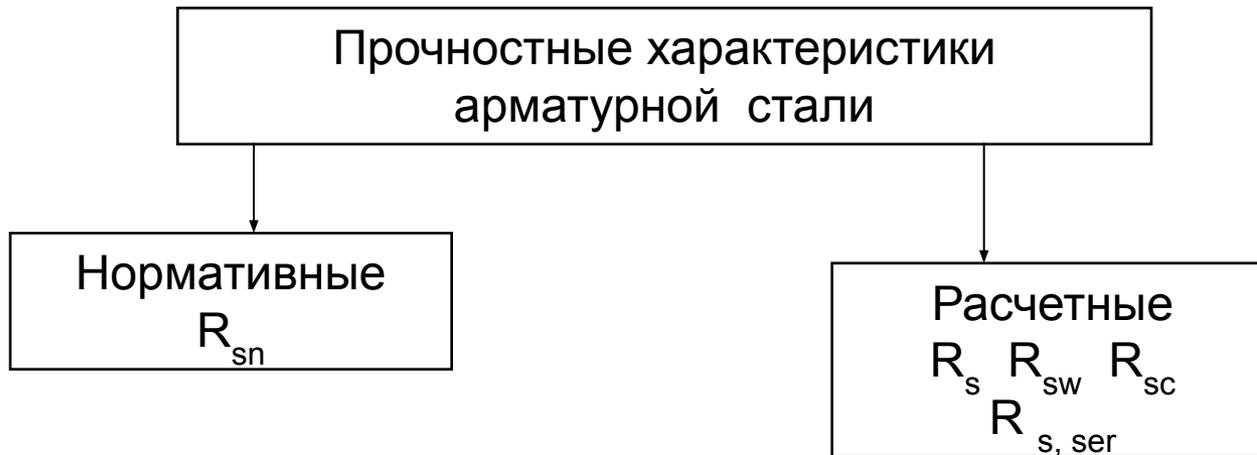
# АРМАТУРА

Нормативные сопротивления арматуры принимаются равными наименьшему контролируемому значению:

для стержневой арматуры, высокопрочной проволоки и арматурных канатов - пределу текучести (физическому или условному);

для обыкновенной арматурной проволоки – напряжению, составляющему 75% от временного сопротивления разрыву.

Значения нормативных сопротивлений  $R_{sn}$  принимаются в соответствии с действующими стандартами на арматурные стали, как и для бетона, с надежностью 0.95.



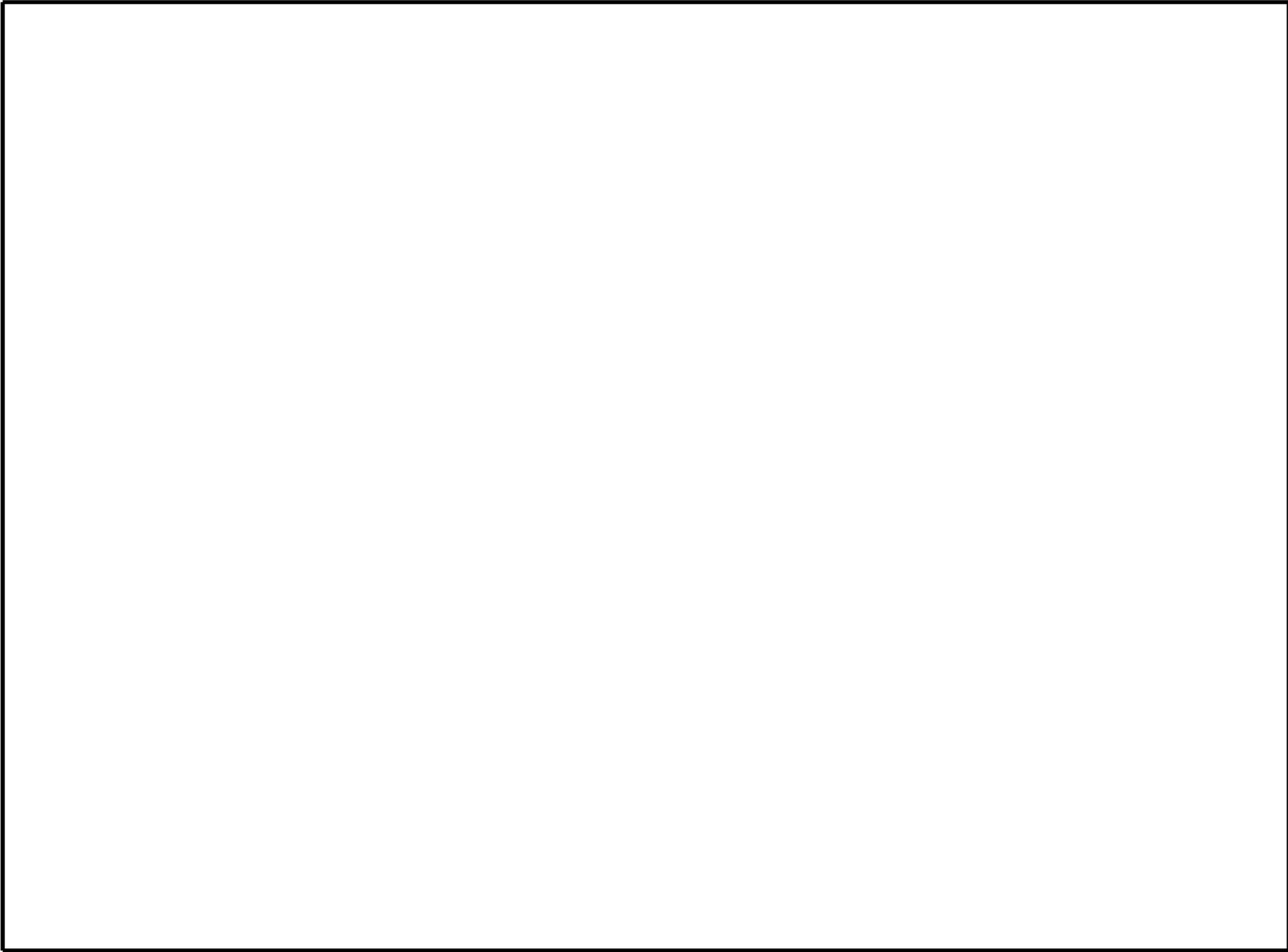
$\gamma_s$  - коэффициент надежности по арматуре, принимаемый равным:

1,1 – для арматуры классов А240, А300, А400;

1,15 – для арматуры класса А500;

1,2 – для арматуры класса В500.

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



# 3. Коэффициенты запаса

Величина проектной надежности строительной конструкции регулируется коэффициентами надежности

- коэффициент надежности по назначению здания
- коэффициент надежности по нагрузке
- коэффициент надежности по материалу
- коэффициент надежности по условиям работы бетона
- коэффициент надежности по условиям работы арматуры

Коэффициент надежности по назначению здания  $\gamma_n$

$$F = \frac{F_u}{\gamma_n}$$

Классы ответственности зданий

I класс  
ответственности  
(повышенный)

Принимается для зданий и сооружений, отказы которых могут привести к тяжелым экономическим, социальным и экологическим последствиям (резервуары для нефти и нефтепродуктов вместимостью 10000 м<sup>3</sup> и более, производственные здания с пролетами 100 м и более, здания с большим скоплением людей)

$$0,95 \leq \gamma_n < 1,2$$

II класс  
ответственности  
(нормальный)

Принимается для зданий и сооружений массового строительства (жилые, общественные, производственные, сельскохозяйственные здания и сооружения).

$$\gamma_n = 1,0$$

Устанавливается согласно требованиям ФЗ -384.

III класс  
ответственности  
(пониженный)

Принимается для сооружения сезонного или вспомогательного назначения (парники, теплицы, летние павильоны, небольшие склады и подобные сооружения).

$$0,8 \leq \gamma_n < 0,95$$

Коэффициент надежности по нагрузке  $\gamma_f$   $F_u = F^n \cdot \gamma_f$

Определяется согласно СП 20.13330.2011 Актуализированная редакция СНиП 2.01.07.-85\* «Нагрузки и воздействия»

а) при расчете по предельным состояниям 1-й группы – в соответствии с 6.4, 7.2, 8.2.2, 8.3.4, 8.4.4, 9.8, 10.8, 11.1.12, 12.5 и 13.8;

б) при расчете по предельным состояниям 2-й группы – принимаются равными единице, если в нормах проектирования конструкций и оснований не установлены другие значения.

7.2 Коэффициенты надежности по нагрузке  $\gamma_f$  для веса строительных конструкций и грунтов приведены в таблице 7.1.

Т а б л и ц а 7.1

Конструкции сооружений и вид грунтов	Коэффициент надежности по нагрузке $\gamma_f$
<i>Конструкции</i>	
Металлические, за исключением случаев, указанных в 2.3	1,05
Бетонные (со средней плотностью свыше 1600 кг/м <sup>3</sup> ), железобетонные, каменные, армокаменные, деревянные	1,1
Бетонные (со средней плотностью 1600 кг/м <sup>3</sup> и менее), изоляционные, выравнивающие и отделочные слои (плиты, материалы в рулонах, засылки, стяжки и т.п.), выполняемые:	
в заводских условиях	1,2
на строительной площадке	1,3
<i>Грунты</i>	
В природном залегании	1,1
На строительной площадке	1,15
Примечание – При определении нагрузок от грунта следует учитывать нагрузки от складываемых материалов, оборудования и транспортных средств, передаваемые на грунт.	

Коэффициент надежности по нагрузке  $\gamma_t$  для снеговой нагрузки следует принимать равным 1,4. При расчете элементов конструкции покрытия, для которых отношение учитываемого нормативного значения равномерно распределенной нагрузки от веса покрытия (включая вес стационарного оборудования) к нормативному значению веса снегового покрова  $s_0$  менее 0,8  $\gamma_t$  следует принимать равным 1,6.

Коэффициент надежности по материалу  $\gamma_m$

$$R_b (R_{b,ser}) = \frac{R_{b,n}}{\gamma_m}$$

- При расчете по I группе предельных состояний

Для сжатого бетона  $\gamma_{bc} = 1,3$

Для растянутого бетона  $\gamma_{bt} = 1,5$

Для растянутой арматуры  $\gamma_s = (1,05...1,2)$

Для поперечной арматуры  $\gamma_{sw} = 0,8$

См. выше

- При расчете по II группе предельных состояний

Для сжатого и растянутого бетона  $\gamma_{bc} = \gamma_{bc} = 1$

Для арматуры  $\gamma_s = 1$

Коэффициент надежности по условиям работы бетона  $\gamma_{b,i}$

$$\gamma_{b1} \cdots \gamma_{b4}$$

$$R = R^n \cdot \gamma_{b,i}$$

Учитывают особенности свойств бетона, длительность действия, многократную повторяемость нагрузки, условия и стадию работы конструкции, способ ее изготовления, размеры сечения и т. п.

Значения коэффициентов условий работы бетона приведены в СП 63.13330.2012

Расчетные сопротивления бетона для предельных состояний второй группы  $R_{b,ser}$  и  $R_{bt,ser}$  вводят в расчет с коэффициентом условий работы бетона  $\gamma_{bi} = 1,0$ .

6.1.12 В необходимых случаях расчетные значения прочностных характеристик бетона умножают на следующие коэффициенты условий работы  $\gamma_{bt}$ , учитывающие особенности работы бетона в конструкции (характер нагрузки, условия окружающей среды и т.д.):

а)  $\gamma_{bt}$  – для бетонных и железобетонных конструкций, вводимый к расчетным значениям сопротивлений  $R_b$  и  $R_{bt}$  и учитывающий влияние длительности действия статической нагрузки:

$\gamma_{bt} = 1,0$  при непродолжительном (кратковременном) действии нагрузки;

$\gamma_{bt} = 0,9$  при продолжительном (длительном) действии нагрузки. Для ячеистых и поризованных бетонов  $\gamma_{bt} = 0,85$ ;

б)  $\gamma_{b2}$  – для бетонных конструкций, вводимый к расчетным значениям сопротивления  $R_b$  и учитывающий характер разрушения таких конструкций,  $\gamma_{b2} = 0,9$ ;

в)  $\gamma_{b3}$  – для бетонных и железобетонных конструкций, бетонируемых в вертикальном положении при высоте слоя бетонирования свыше 1,5 м, вводимый к расчетному значению сопротивления бетона  $R_b$ ,  $\gamma_{b3} = 0,85$ ;

г)  $\gamma_{b4}$  – для ячеистых бетонов, вводимый к расчетному значению сопротивления бетона  $R_b$ :

$\gamma_{b4} = 1,00$  – при влажности ячеистого бетона 10 % и менее;

$\gamma_{b4} = 0,85$  – при влажности ячеистого бетона более 25 %;

по интерполяции – при влажности ячеистого бетона свыше 10 % и менее 25 %.

Влияние попеременного замораживания и оттаивания, а также отрицательных температур, учитывают коэффициентом условий работы бетона  $\gamma_{b5} \leq 1,0$ . Для надземных конструкций, подвергаемых атмосферным воздействиям окружающей среды при расчетной температуре наружного воздуха в холодный период минус 40 °С и выше, принимают коэффициент  $\gamma_{b5} = 1,0$ . В остальных случаях значения коэффициента принимают в зависимости от назначения конструкции и условий окружающей среды согласно специальным указаниям.

Коэффициент надежности по условиям работы арматуры

$\gamma_{s,i}$

$$\gamma_{s1} \cdots \gamma_{s9}$$

$$R = R^n \cdot \gamma_{s,i}$$

Учитывают особенности свойств арматуры, длительность действия, многократную повторяемость нагрузки, условия и стадию работы конструкции, способ ее изготовления, размеры сечения и т. п.

Значения коэффициентов условий работы бетона приведены в табл. 24 СНиП 2.03.01-84\*.

Таблица 24\*

Факторы, обуславливающие введение коэффициента условий работы арматуры	Характеристика арматуры	Класс арматуры	Коэффициент условий работы арматуры	
			условное обозначение	числовое значение
1. Работа арматуры на действие поперечных сил	Поперечная	Независимо от класса	$\gamma_{s1}$	См. п. 2.28*
2. Наличие сварных соединений арматуры при действии поперечных сил	□	A-III и Bp-I	$\gamma_{s2}$	То же
3. Многократно повторяющаяся нагрузка	Продольная и поперечная	Независимо от класса	$\gamma_{s3}$	См. табл. 25*
4. Наличие сварных соединений при многократном повторении нагрузки	Продольная и поперечная при наличии сварных соединений арматуры	A-I, A-II, A-III, A-IV, A-V	$\gamma_{s4}$	См. табл. 26*
5. Зона передачи напряжений для арматуры без анкеров и зона анкеровки ненапрягаемой арматуры	Продольная напрягаемая Продольная ненапрягаемая	Независимо от класса То же	$\gamma_{s5}$	В формулах поз. 5: $l_x$ — расстояние от начала зоны передачи напряжений до рассматриваемого сечения; $l_p, l_{an}$ — соответственно длина зоны передачи напряжений и зоны анкеровки арматуры (см. пп. 2.29 и 5.14)
6. Работа высокопрочной арматуры при напряжениях выше условного предела текучести	Продольная растянутая	A-IV; A-V; A-VI; At-VII; B-II; Bp-II; K-7; K-19	$\gamma_{s6}$	Согласно указаниям п. 3.13*
7. Элементы из легкого бетона класса B7,5 и ниже	Поперечная	A-I; Bp-I	$\gamma_{s7}$	0,8
8. Элементы из ячеистого бетона класса B7,5 и ниже	Продольная сжатая Поперечная	Независимо от класса То же	$\gamma_{s8}$	
9. Защитное покрытие арматуры в элементах из ячеистого бетона	Продольная сжатая	□	$\gamma_{s9}$	См. табл. 27

## 4. Расчет железобетонных конструкций по первой и второй группе предельных состояний

Расчет по первой группе предельных состояний выполняется в общем случае для всех этапов работы конструкции и ее элементов: изготовления, транспортирования, возведения и эксплуатации. Этот расчет должен гарантировать сохранение несущей способности конструкции с учетом возможной изменчивости нагрузок в большую сторону и прочностных характеристик материалов в меньшую сторону.

Расчет по первой группе предельных состояний является **основным** и используется для подбора размеров сечения и диаметра арматуры

Условие прочности железобетонных элементов  
по первой группе предельных состояний

$$F(q_n; \gamma_f; \psi) \cdot \gamma_n \leq \Phi(A; R_{bn}; \gamma_b; \gamma_{bi}; R_{sn}; \gamma_s; \gamma_{si})$$

$$F \leq F_{cr_c}$$

$$\Delta \leq [f]$$

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

## 5. Категории требований к трещиностойкости конструкций

Под трещиностойкостью конструкций понимают их сопротивление образованию трещин в конце стадии I напряженно-деформированного состояния или сопротивление раскрытию трещин в стадии II (см. ранее).

Трещины в железобетонных конструкциях

Трещины непродолжительного раскрытия

$a_{crc,1}$

раскрытие трещин при совместном действии постоянных, длительных и кратковременных нагрузок.

Трещины продолжительного раскрытия

$a_{crc,2}$

раскрытие трещин при совместном действии постоянных, длительных нагрузок. При этом принимают коэффициент надежности по нагрузке = 1.

## Категории трещиностойкости

### 1-ая категория

не допускает образования трещин (водонепроницаемые конструкции, конструкции, эксплуатируемые в грунтовых водах). Образование трещин в таких конструкциях исключает возможность их дальнейшей эксплуатации

### 2-ая категория

допускает ограниченное по ширине непродолжительное раскрытие трещин (от совместного действия всех нагрузок) при условии их последующего надежного закрытия, когда непродолжительные нагрузки отсутствуют; Предъявляют к конструкциям, эксплуатируемым в агрессивной среде (водяной пар, кислоты, морская вода), находящимся под воздействием многократно повторяющейся нагрузки

### 3-ая категория допускает

ограниченное по ширине и непродолжительное раскрытие трещин; 3-ю категорию требований к трещиностойкости относят к конструкциям со стержневой ненапрягаемой и напрягаемой арматурой, в которых образование трещин не опасно для их нормальной эксплуатации.

## Согласно требований п. 8.2.7 СП 63.13330.2012

$a_{cr,ult}$  – предельно допустимая ширина раскрытия трещин.

Значения  $a_{cr,ult}$  принимают равными:

а) из условия обеспечения сохранности арматуры

классов А240...А600, В500:

0,3 мм – при продолжительном раскрытии трещин;

0,4 мм – при непродолжительном раскрытии трещин;

классов А800, А1000, В<sub>p</sub>1200-В<sub>p</sub>1400, К1400, К1500 (К-19) и К1500 (К-7), К1600

диаметром 12 мм:

0,2 мм – при продолжительном раскрытии трещин;

0,3 мм – при непродолжительном раскрытии трещин;

классов В<sub>p</sub>1500, К1500 (К-7), К1600 диаметром 6 и 9 мм:

0,1 мм – при продолжительном раскрытии трещин;

0,2 мм – при непродолжительном раскрытии трещин;

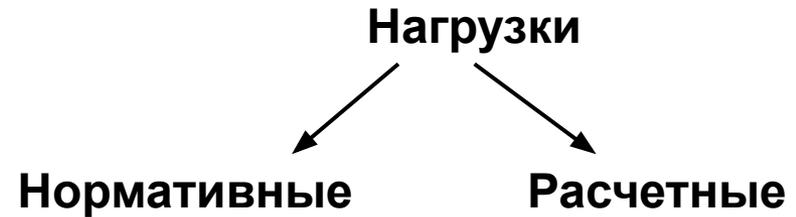
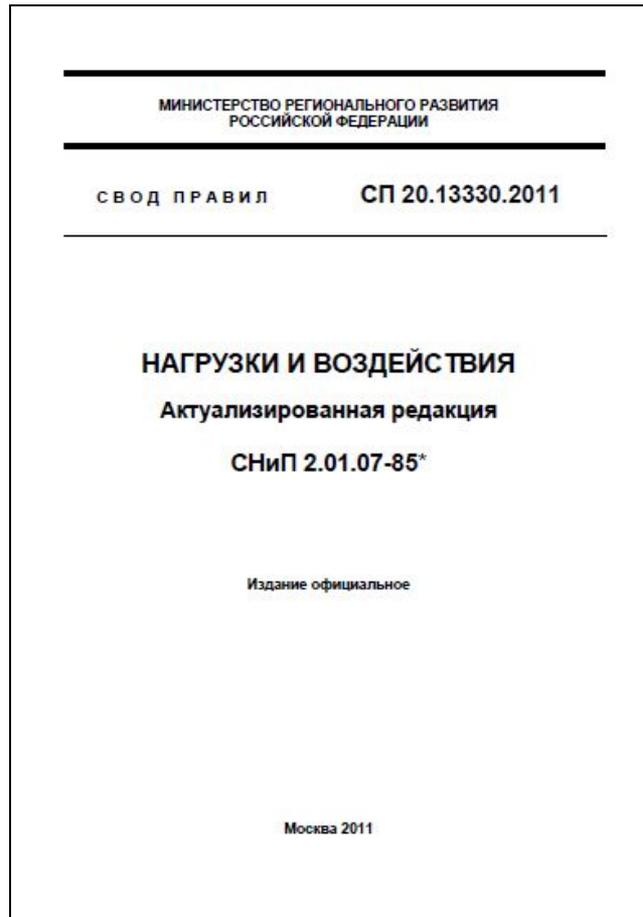
б) из условия ограничения проницаемости конструкций

0,2 мм – при продолжительном раскрытии трещин;

0,3 мм – при непродолжительном раскрытии трещин.

# 6. Нагрузки на строительные конструкции. Сочетания нагрузок

СП 20.13330.2011.



Нормативные нагрузки – внешние воздействия на конструкции, установленными нормами строительного проектирования

Расчетная нагрузка – нормативная нагрузка, принятая с учетом коэффициента надежности по нагрузке

# Нагрузки на строительные конструкции

## Постоянные

- Вес строительных конструкций
- Вес и давление грунтов
- Воздействие предварительного напряжения

## Временные

### Длительные

- Вес оборудования
- Давление газов, жидких сыпучих в-в
- Снеговая нагрузка
- Нагрузка от одного мостового крана
- Полезная нагрузка на перекрытие

### Кратковременные

- Вес людей
- Нагрузка от кранов, тельферов
- Ветровая нагрузка
- Нагрузка от снега

### Особые

- Сейсмические и взрывные воздействия
- Нагрузки при авариях
- Неравномерная осадка грунтов при просадках

# Сочетания нагрузок

Основные

Особые

I группа

II группа

Постоянные

Постоянные

Постоянные

Длительные

Длительные  
с  $\psi=0,95$

Длительные  
с  $\psi=0,95$

Одна  
кратковременная

Две или более  
Кратковременные  
с  $\psi=0,8$

Две или более  
Кратковременные  
с  $\psi=0,8$

Одна особая