

# Проектирование конструкций по Еврокодам

# Основы проектирования

**EN 1990: Основы проектирования сооружений**

# Основные требования

Конструкция должна быть спроектирована и выполнена таким образом, чтобы

- (1) на протяжении проектного срока службы с достаточной степенью надёжности и долговечности
  - могла воспринимать все воздействия, которые могут возникнуть во время строительства и эксплуатации;
  - могла выполнять свои функции;
- (2) обладала достаточной механической прочностью, эксплуатационной пригодностью и долговечностью;
- (3) сохраняла достаточную несущую способность в течение заданного времени при пожаре;
- (4) исключались непропорционально большие повреждения, вызванные аварийными ситуациями (взрыв, удар, ошибки деятельности человека).

# Предельные состояния

**Предельные состояния** (limit state) – состояния, при превышении которых конструкция перестаёт соответствовать установленным расчётным критериям.

EN 1990,  
ст. 1.5.2.12

**Расчётные критерии** (design criteria) – количественные условия, которые должны быть выполнены для каждого предельного состояния.

EN 1990,  
ст. 1.5.2.1

**ULS – Критические (абсолютные) предельные состояния** (ultimate limit state) – состояния, связанные с обрушением или с другими подобными формами разрушения несущей конструкции.

EN 1990,  
ст. 1.5.2.13

связаны с безопасностью людей

**SLS – Эксплуатационные (функциональные) предельные состояния** (serviceability limit states) – состояния, при превышении которых не выполняются установленные технические требования к эксплуатации сооружения или их элементов.

EN 1990,  
ст. 1.5.2.14

связаны с экономическим ущербом  
конструкция сохраняет возможность выполнять свою функцию

# Пределные состояния (РФ)

**Пределное состояние** – состояние строительного объекта (конструкции), при превышении которого его эксплуатация недопустима, затруднена или нецелесообразна.

**Первая группа предельных состояний** (по несущей способности) – предельные состояния, превышение которых ведет к потере несущей способности строительных конструкций.

- разрушение любого характера (пластическое, хрупкое усталостное)
- потеря устойчивости
- явления, при которых возникает необходимость прекращения эксплуатации

**Вторая группа предельных состояний** (по пригодности к нормальной эксплуатации) – состояния, при превышении которых нарушается нормальная эксплуатация строительных конструкций, исчерпывается ресурс их долговечности или нарушаются условия комфортности.

- достижение предельных прогибов, перемещений, уровней колебаний
- образование трещин, превышение предельной ширины их раскрытия
- явления, при которых возникает необходимость ограничения эксплуатации сооружения

**ultimate limit state**

критические, абсолютные

**serviceability limit states**

эксплуатационные,  
функциональные

# Эксплуатационные предельные состояния

К эксплуатационным предельным состояниям относят деформации, растрескивание или вибрации, которые

- повреждают несущие или ненесущие элементы (отделку, перегородки) или содержимое здания (оборудование);
- вызывают дискомфорт пользователей помещения;
- нарушают внешний вид здания, его долговечность и водонепроницаемость.

EN 1990,  
разд. 3.4

## Эксплуатационные предельные состояния

### Необратимые (irreversible)

при которых некоторые последствия воздействий, превышающих установленные эксплуатационные требования, остаются при устранении этих воздействий

### Обратимые (reversible)

при которых не остается последствий после устранения воздействий, превышающих требования по эксплуатации

EN 1990,  
ст. 1.5.2.14

## Расчётные ситуации (РФ)

**Расчётные ситуации** – учитываемый при расчёте сооружений комплекс наиболее неблагоприятных условий, которые могут возникнуть при его эксплуатации и возведении.

### Виды расчётных ситуаций:

- **установившаяся** – ситуация, имеющая продолжительность, близкую к сроку службы строительного объекта  
(например, эксплуатация между двумя капитальными ремонтами или изменениями технологического процесса);
- **переходная** – ситуация, имеющая продолжительность, меньшую по сравнению со сроком службы строительного объекта  
(например, изготовление, транспортирование, монтаж, капитальный ремонт и реконструкция строительного объекта);
- **аварийная** – ситуация, соответствующая исключительным условиям работы сооружения (в том числе и при особых воздействиях), которые могут привести к существенным социальным, экологическим и экономическим потерям.

# Воздействия

**Воздействие ( $F$ ) (action):**

- a) нагрузка, приложенная к конструкции (**прямое воздействие**);
- b) деформации или ускорения, вызванные внешними причинами, например, температурными изменениями, изменением влажности, неравномерной осадкой оснований или землетрясениями (**косвенное воздействие**).

**Параметры воздействия (load arrangement):**

положение, величина (интенсивность)\* и длительность воздействия.

**Классификация воздействий в зависимости от пространственного фактора:**

свободное (free)  
стационарное (fixed)

**Классификация воздействий в соответствии с временным фактором:**

постоянное (permanent)	$G$
временное (variable)	$Q$
аварийное (accidental)	$A$ <i>случайное</i>

EN 1990,  
ст. 1.5.3.1

\* Необходимо также учитывать взаимосвязь между воздействием и реакцией сооружения

# Классификация воздействий

## Постоянное воздействие ( $G$ ) (permanent action):

воздействие, которое действует в течение расчетного срока службы и изменение расчётного значения которого незначительно по сравнению со средним значением

или воздействие, изменение расчетного значения которого происходит всегда монотонно в одном направлении до достижения предельного значения.

- собственный вес конструкций, слоёв, стационарного оборудования;
- давление грунта и воды;
- усилие предварительного напряжения;
- не прямые воздействия, вызванные усадкой, осадкой грунта и т.п.

EN 1990,  
ст. 1.5.3.3

## Временное воздействие ( $Q$ ) (variable action):

воздействие, которое изменяется во времени по величине или по направлению

- нагрузки на перекрытия (*приложенные, полезные*)
- снеговые, ветровые
- не прямые воздействия, вызванные изменением температуры

EN 1990,  
ст. 1.5.3.4

# Классификация воздействий

## Аварийное воздействие ( $A$ ) (accidental action):

кратковременное интенсивное воздействие, имеющее небольшую вероятность возникновения в течение расчетного срока службы

- взрывы;
- пожары;
- удары при столкновении с транспортными средствами;
- не прямые воздействия – сейсмические ( $A_E$ )

EN 1990,  
ст. 1.5.3.5

Некоторые воздействия в зависимости от имеющейся статистической информации могут рассматриваться как

- аварийные или временные (снег, сеймика);
- постоянные или временные (давление воды).

Данная классификация необходима для оценки возможности совместного появления различного рода воздействий

# Классификация нагрузок и воздействий (РФ)

**Нагрузки** – внешние механические силы, действующие на строительные объекты.



# Виды нагрузок (РФ)

**Постоянные** – нагрузки, изменение расчетных значений которых в течение расчетного срока службы строительного объекта пренебрежимо мало по сравнению с их средними значениями

- Собственный вес конструкций
- Вес и давление грунтов
- Усилия от предварительного напряжения

**Длительные** – нагрузки, сохраняющие расчетные значения во время эксплуатации длительное время

- Вес временных перегородок
- Вес стационарного оборудования
- Вес складированных материалов
- Пониженные нормативные значения нагрузок от людей, оборудования, мостовых и подвесных кранов, снега

**Кратковременные** – нагрузки, длительность действия расчетных значений которых существенно меньше срока службы сооружения

- Ветровая нагрузка
- Полные нормативные значения нагрузок от людей, оборудования, мостовых и подвесных кранов, снега
- Нагрузка от транспортных средств

**Особые** – нагрузки, имеющие малую вероятность появления и небольшую продолжительность, но создающие чрезвычайные ситуации с возможными катастрофическими последствиями

- Сейсмические воздействия
- Воздействия взрывов
- Воздействия, обусловленные пожаром
- Воздействия, вызванные столкновениями с движущимися транспортными средствами
- Карстовые воронки
- Отказы отдельных несущих элементов

# Репрезентативные значения воздействий

**Репрезентативное значение** воздействия ( $F_{rep}$ ) (representative value):

– это значение, используемое при расчёте по предельным состояниям.

В качестве репрезентативного значения могут быть приняты его характеристическое значение ( $F_k$ ) или одно из трёх значений в комбинации ( $\psi_i F_k$ ).

EN 1990,  
ст. 1.5.3.20

**Характеристическое** (нормативное, базовое) значение воздействия ( $F_k$ ) (characteristic value):

– это основное репрезентативное числовое значение воздействия.

Характеристическое значение может быть определено как:

- среднее (middle)
- нижнее (inf)
- верхнее (sup)
- номинальное (nom)

EN 1990,  
ст. 1.5.3.14

Номинальная величина приводится в стандартах, нормативных документах или проектной документации. Например, для аварийных воздействий статическое распределение является неизвестным, и они задаются номинальными величинами.

## Характеристическое значение постоянного воздействия

Если изменчивость постоянного воздействия невелика (коэффициент вариации  $V \leq 0,05 \dots 0,10$ ), в качестве  $G_k$  можно использовать среднее значение.

Если изменчивость значительна, или если конструкция является весьма чувствительной к изменениям  $G$ , используют верхнее и нижнее значения:

$$G_{k,inf} \text{ (0,05 квантиль)} \quad G_{k,sup} \text{ (0,95 квантиль)}$$

**Собственный вес** обычно рассчитывается на основе номинальных размеров и средней удельной массы ( $G_k$  является средней величиной  $\mu_G$ ).

$$\text{Коэффициент вариации } V_G \leq 0,02 \dots 0,05$$

Собственный вес подчиняется нормальному (Гауссовому) распределению:

$$G_{k,inf} = \mu_G (1 - 1,64 \cdot V_G)$$

$$G_{k,sup} = \mu_G (1 + 1,64 \cdot V_G)$$

при  $V_G = 0,1$  (10%) нижнее  $G_{k,inf}$  и верхнее  $G_{k,sup}$  значения будут на 16,4% больше и меньше средней величины  $\mu_G$

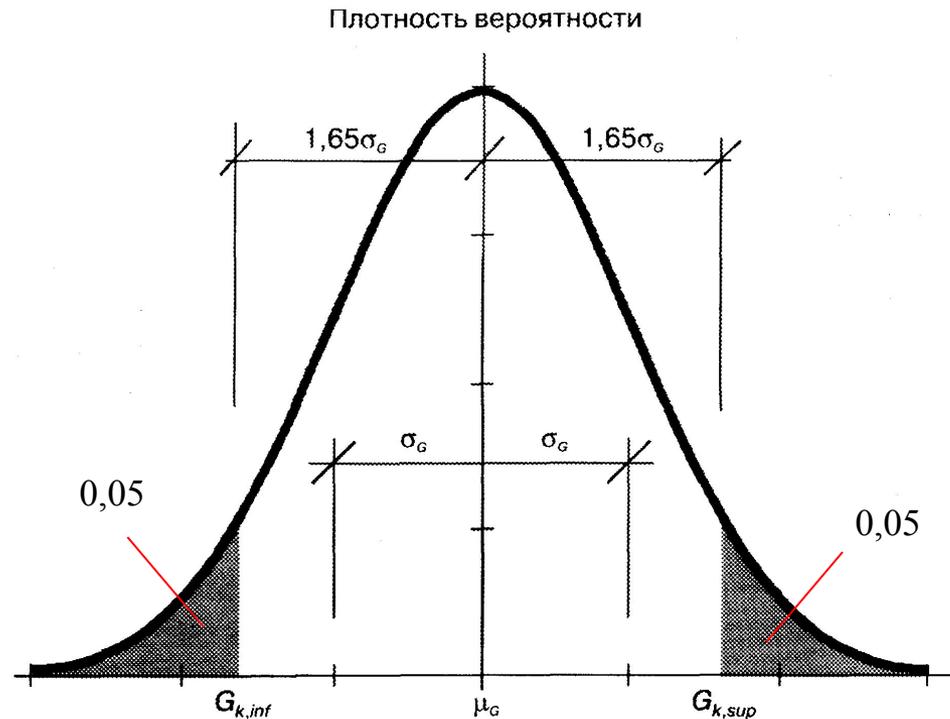
# Квантиль случайной величины

**Квантиль** случайной величины – значение, которое заданная случайная величина не превышает с фиксированной вероятностью.

**p-квантиль**  $x_p$  – это значение переменной случайной величины  $X$ , при котором вероятность того, что переменная  $X$  меньше или равна  $x_p$  равна  $p$

$$\Phi(x_{0,05}) = 1,644854 \approx 1,64$$

$$\Phi(x_{0,001}) \approx 3,09$$



# Характеристическое значение временного воздействия

В случае статистической обработки в качестве  $Q_k$  принимается **верхнее** значение с заданной вероятностью превышения ( $p$ ) в течение установленного отрезка времени  $\tau$  (базового периода), например, в течение года ( $\tau = 1 \text{ год}$ ).

**Базовый период** (reference period) – промежуток времени, выбранный для оценки статистических временных, и возможно, аварийных воздействий.

**Период повторяемости** ( $T$ ) – ожидаемый промежуток времени между двумя последовательными повторениями характеристической величины, соответствующий вероятности  $p$

$$T = \frac{\tau}{p} = \frac{1}{0,02} = 50 \text{ лет}$$

$t$  – базовый период (1 год);  
 $p$  – вероятность превышения (2%).

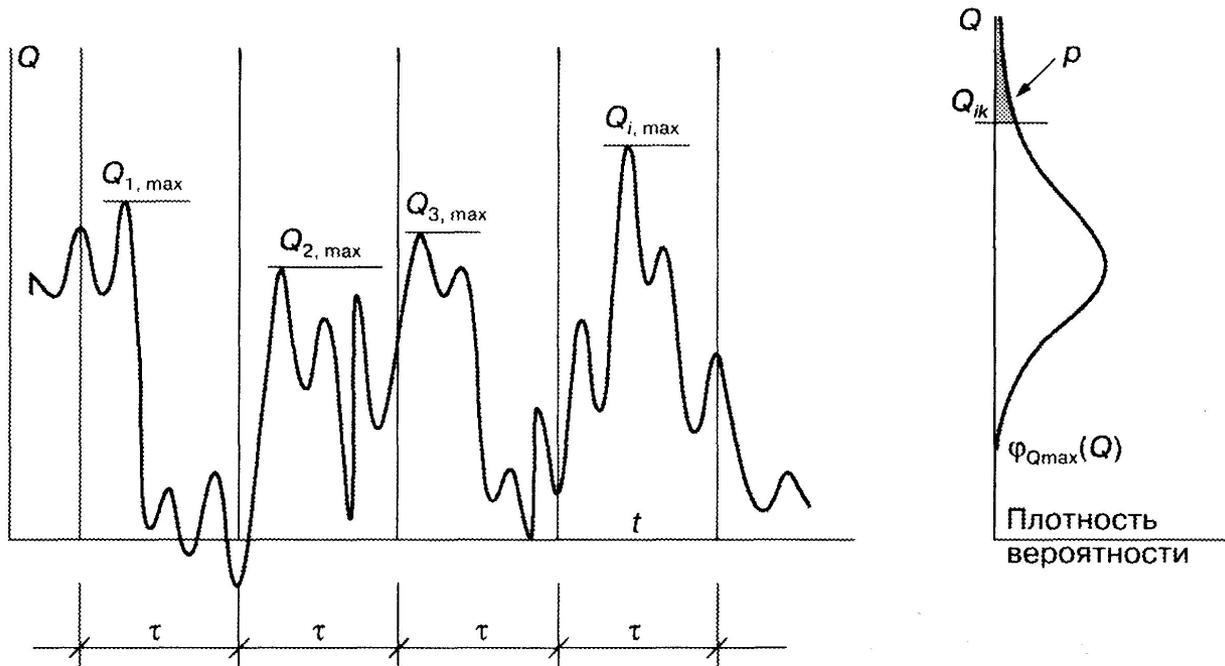
EN 1990,  
ст. 1.5.3.15

Вероятность непревышения (обеспеченность)	Вероятность превышения	Период повторяемости	Число повторений за 50 лет
0,98	0,02	1/0,02 = 50 лет	50/50 = 1 раз
0,96	0,04	1/0,04 = 25 лет	50/25 = 2 раза
0,93	0,07	1/0,07 = 15 лет	
0,92	0,08	1/0,08 = 12,5 лет	50/12,5 = 4 раза
0,90	0,10	1/0,10 = 10 лет	50/10 = 5 раз

# Иллюстрация понятия базового периода

В течение базового периода временное воздействие  $Q$  достигает своей максимальной величины  $Q_{\max}$  (годового максимума).

Следовательно, характеристическая величина  $Q_k$  является  $p$ -квантилем (0,02-квантилем) экстремальной (максимальной) величины  $Q_{\max}$



# Значения временных воздействий в комбинации

**Комбинационное (эквивалентное) значение** ( $\psi_0 Q_k$ ) (combination value) ( $\psi_0 \leq 1$ ):

значение временного воздействия, которое выбирается так, чтобы комбинация воздействий соответствовала примерно такой же вероятности появления, как и для простого воздействия.

EN 1990,  
ст. 1.5.3.16

**Простое воздействие** (single action) – воздействие, которое является статистически независимым во времени и пространстве от любого другого воздействия.

EN 1990,  
ст. 1.5.3.10

**Пониженное (частое) значение** ( $\psi_1 Q_k$ ) (frequent value) ( $\psi_1 \leq 1$ ):

значение временного воздействия, которое выбирается с учетом того, что суммарное время его действия меньше базового периода.

(для зданий – 1% от базового периода; для мостов период повторяемости = 1 неделе)

EN 1990,  
ст. 1.5.3.17

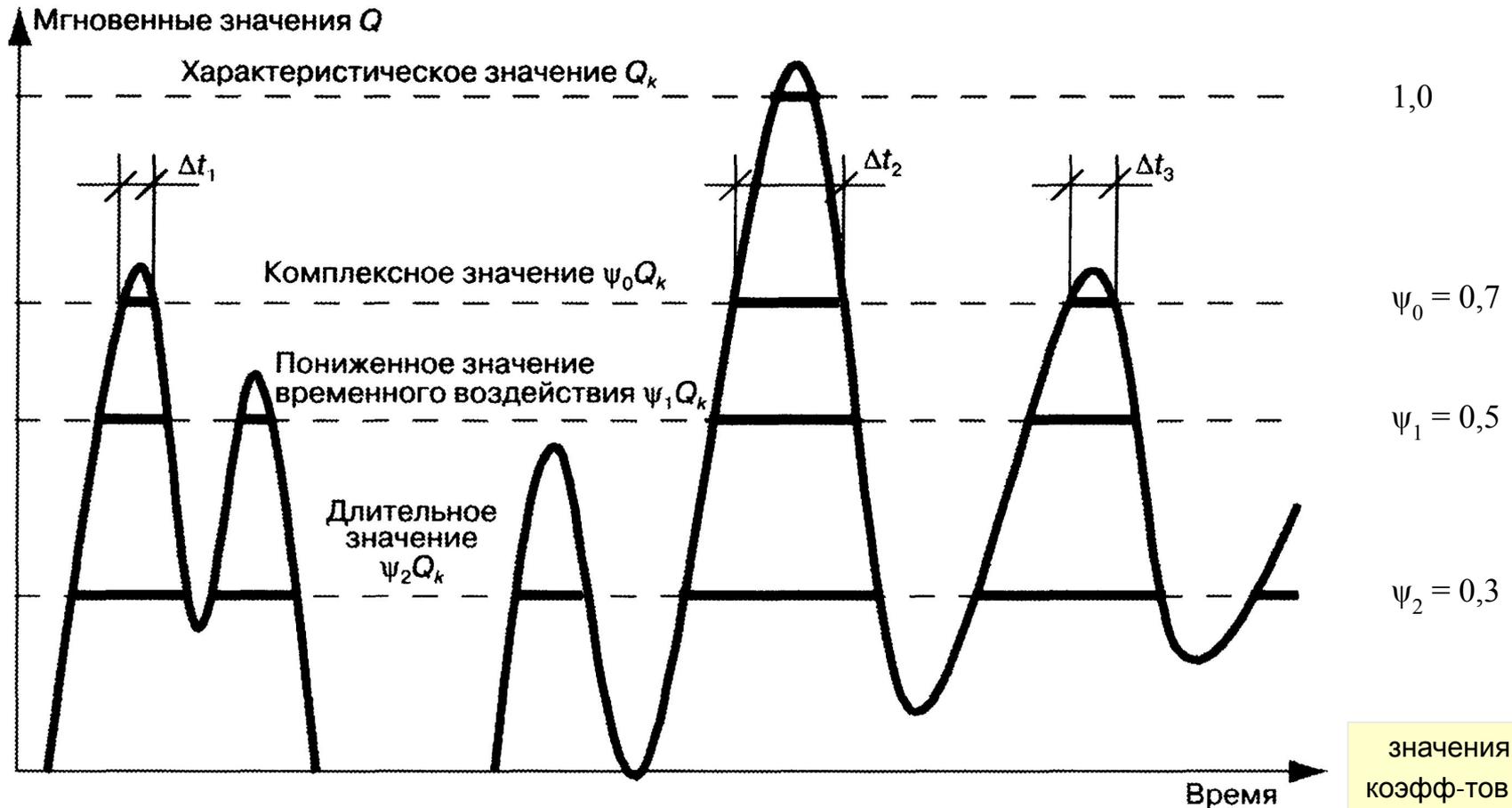
**Длительное значение** ( $\psi_2 Q_k$ ) (quasi-permanent value) ( $\psi_2 \leq 1$ ):

значение временного воздействия, определенное с учетом того, что суммарный промежуток времени, в течение которого оно будет превышено, составляет большую часть базового периода.

(для перекрытий – 50% от базового периода)

EN 1990,  
ст. 1.5.3.18

# Репрезентативные значения временных воздействий



$\psi_0$  учитывает приведенную (нормализованную) вероятность одновременного появления неблагоприятных значений двух (или более) временных воздействий

значения  
коэфф-тов  $\psi$   
для жилых и  
офисных  
помещений

# Значения коэффициентов сочетаний

EN 1990, табл. А1.1

Воздействия	$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$
Прикладываемые нагрузки:			
(А) Жилые помещения	0,7	0,5	0,3
(В) Офисные помещения	0,7	0,5	0,3
(С) Общественные и (D) торговые помещения	0,7	0,7	0,6
(Е) Складские площади	1,0	0,9	0,8
(F) Парковки	0,7	0,7	0,6
Ветровые нагрузки	0,5	0,2	0,0
Снеговые нагрузки (для высот < 1000 м)	0,7	0,2	0,0

# Расчётные значения воздействия и эффекта воздействия

**Расчётное значение воздействия ( $F_d$ ) (design value of an action):**

значение воздействия, полученное умножением его репрезентативного значения на парциальный коэффициент надёжности  $\gamma_F$  ( $\gamma_F \geq 1$ ):

$$F_d = F_{rep} \cdot \gamma_F$$

EN 1990,  
ст. 1.5.3.21

**Эффект воздействия ( $E$ ) (effect of action):**

реакция конструкции (внутренние усилия, напряжения, деформации) или сооружения в целом (отклонение, вращение).

EN 1990,  
ст. 1.5.3.2

**Расчётное значение эффекта воздействия:**

$$E_d = \gamma_{sd} \cdot E \{ \gamma_f F_{rep}; a_d \}$$

$a_d$  – геометрическая характеристика

или 
$$E_d = E \{ \gamma_F F_{rep}; a_d \}$$

где 
$$\gamma_F = \gamma_f \cdot \gamma_{sd}$$

$\gamma_f$  – частный коэффициент надёжности по нагрузке, учитывающий вероятность неблагоприятных отклонений воздействия от репрезентативных значений;

$\gamma_{sd}$  – частный коэффициент надёжности, учитывающий неопределённость (погрешности) модели воздействий и/или эффектов воздействий.

# Расчётные значения воздействий для сочетания STR

EN 1990, табл. A1.2 В

Формула EN 1990	Постоянные воздействия		Ведущее временное воздействие	Сопровождающие воздействия	
	неблагоприят- ные	благоприятные		основные	прочие
(6.10)	$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$	-	$\gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$
(6.10a)	$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	-	$\gamma_{Q,1} \Psi_{0,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$
(6.10b)	$\xi \gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\xi \gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$	-	$\gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$
	$\gamma_{Gj,sup} = 1,35$	$\gamma_{Gj,inf} = 1,00$	$\gamma_{Q,1} = 1,50$	$\gamma_{Q,1} = 1,50$	$\gamma_{Q,i} = 1,50$

Сочетание STR используется для оценки сопротивления конструкций в условиях отсутствия геотехнического воздействия. Возможны три варианта (национальный выбор):

$$\gamma_{G,j\ sup} G_{k,j\ sup} + \gamma_{G,j\ inf} G_{k,j\ inf} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.10)$$

$$\gamma_{G,j\ sup} G_{k,j\ sup} + \gamma_{G,j\ inf} G_{k,j\ inf} + \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.10a)$$

$$\xi \gamma_{G,j\ sup} G_{k,j\ sup} + \xi \gamma_{G,j\ inf} G_{k,j\ inf} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.10b)$$

$\xi = 0,925$  – понижающий коэффициент для неблагоприятных постоянных воздействий

## Частные коэффициенты надёжности для сочетания STR

Формула EN 1990	Сочетание нагрузок	Постоянные воздействия		Временные воздействия		Пред. напряжение
		неблагоприятные	благоприятные	прикладываемые	ветровые	
(6.10)	Постоянная + прикладываемая	1,35	1,00	1,50	-	1,00
	Постоянная + ветровая	1,35	1,00	-	1,50	1,00
	Постоянная + прикладываемая + ветровая	1,35	1,00	1,50	$1,5 \cdot \psi_0 = 0,75$	1,00
(6.10a)	Постоянная + прикладываемая	1,35	1,00	$1,5 \cdot \psi_0$		1,00
	Постоянная + ветровая	1,35	1,00	-	$1,5 \cdot \psi_0 = 0,9$	1,00
	Постоянная + прикладываемая + ветровая	1,35	1,00	$1,5 \cdot \psi_0$	$1,5 \cdot \psi_0 = 0,9$	1,00
(6.10b)	Постоянная + прикладываемая	$1,35 \cdot \xi = 1,25$	$1,00 \cdot \xi = 0,925$	1,5	-	1,00
	Постоянная + ветровая	$1,35 \cdot \xi = 1,25$	$1,00 \cdot \xi = 0,925$	-	1,5	1,00
	Постоянная + прикладываемая + ветровая	$1,35 \cdot \xi = 1,25$	$1,00 \cdot \xi = 0,925$	1,5	$1,5 \cdot \psi_0 = 0,9$	1,00

# Сочетания воздействий ля проверки несущей способности

$$\gamma_{G,j \text{ sup}} G_{k,j \text{ sup}} + \gamma_{G,j \text{ inf}} G_{k,j \text{ inf}} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.10)$$

EN 1990, ст. 6.4.1 (1)P

**EQU – потеря статического равновесия** (для проверки потери устойчивости):

$$\gamma_{G,j \text{ sup}} = 1,1 \quad \gamma_{G,j \text{ inf}} = 0,9 \quad \gamma_Q = 1,5$$

EN 1990, табл. A1.2 A

**STR – разрушение или чрезмерная деформация конструкции:**

$$\gamma_{G,j \text{ sup}} = 1,35 \quad \gamma_{G,j \text{ inf}} = 1,0 \quad \gamma_Q = 1,5$$

EN 1990, табл. A1.2 B

**GEO – разрушение или чрезмерная деформация грунта основания:**

(для национального выбора предлагаются три подхода с различным набором частных коэффициентов)

EN 1990, табл. A1.2 C

**FAT – усталостное разрушение**

# Расчётные значения воздействий

В аварийных расчётных ситуациях

EN 1990, табл. A1.3

Расчётная ситуация	Постоянные воздействия		Ведущее аварийное воздействие	Сопровождающие воздействия	
	неблагоприятные	благоприятные		основные	прочие
Аварийная	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	$A_d$	$\Psi_{1,1} Q_{k,1}$ или $\Psi_{2,1} Q_{k,1}$	$\Psi_{2,i} Q_{k,i}$
Сейсмическая	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	$A_{Ed}$	-	$\Psi_{2,i} Q_{k,i}$

Для предельных состояний эксплуатационной пригодности

EN 1990, табл. A1.4

Комбинации воздействий	Постоянные воздействия		Временные воздействия	
	неблагоприятные	благоприятные	основные	прочие
<b>Характеристическая (нормативная)</b> для необратимых предельных состояний	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	$Q_{k,1}$	$\Psi_{0,i} Q_{k,i}$
<b>Частая (пониженная)</b> для обратимых предельных состояний	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	$\Psi_{1,1} Q_{k,1}$	$\Psi_{2,i} Q_{k,i}$
<b>Квазипостоянная (длительная)</b> для учёта длительных эффектов (ползучесть, осадка опор)	$G_{kj,sup}$	$G_{kj,inf}$	$\Psi_{2,1} Q_{k,1}$	$\Psi_{2,i} Q_{k,i}$

## Сочетания нагрузок (СНиП 2.01.07-85\* )

На конструкцию действует, как правило, несколько нагрузок, и при расчёте необходимо выявить их наиболее неблагоприятное сочетание.

При учёте одновременного действия более двух нагрузок их расчётные значения умножают на коэффициенты сочетаний  $\psi < 1$ .

**Коэффициент сочетаний  $\psi$**  учитывает маловероятность одновременного действия максимальных значений нескольких нагрузок.

СНиП 2.01.07-85\* предусматривает **основные** и **особые** сочетания нагрузок:

Сочетание	Учитываемые нагрузки	Коэффициенты сочетаний $\psi$ для нагрузок			
		постоянных	длительных	кратко-временных	особых
Основное	Постоянная + одна временная	1	1	1	-
<sup>1</sup> Основное	Постоянная + две и более временных	1	0,95	0,9	-
<sup>2</sup> Особое	Постоянная + временные + одна	1	0,95	0,8	1
Сейсмич.*	Постоянная + временные + сейсмич.	0,9	0,8	0,5	1

\* по СНиП Строительство в сейсмических районах

## Сочетания нагрузок (СП 20.13330.2012 )

**Основные сочетания** нагрузок состоят из постоянных  $P_d$ , длительных  $P_l$  и кратковременных  $P_t$ :

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

**Особые сочетания** нагрузок состоят из постоянных, длительных, кратковременных и одной из особых нагрузок:

$$C_s = C_m + P_s$$

Сочетание	Коэффициенты сочетаний $\psi$ для нагрузок						
	длительных			кратковременных			особых
	равномерно распределенных		прочих (кроме крановой)	основной	второй	остальных	
	основной	неосновных					
Основное	1,0	0,95	1	1,0	0,9	0,7	-
Особое	1,0	0,95	1	0,8	0,8	0,8	1

# Характеристические значения значений свойств материала

**Характеристическое (нормативное, базовое) значение ( $X_k$  или  $R_k$ )**  
(characteristic value)

EN 1990,  
ст. 1.5.4.1

значение, характеризующее свойства материала или продукта, имеющее определенную вероятность непревышения при неограниченной серии испытаний.

Это числовое значение, обычно соответствует определенному квантилю принятого статистического распределения рассматриваемого материала или продукта.

При некоторых обстоятельствах (при отсутствии статистических данных) в качестве характеристического может быть принято **номинальное** значение.

В качестве характеристического значения свойств материала обычно рассматривается **5%-ный** (нижний) квантиль распределения.

EN 1990,  
ст. 4.2

Для прочности бетона на растяжение при расчёте влияния непрямого воздействия используется верхний (95-ный) квантиль.

Жесткостные показатели (модули упругости, коэффициенты ползучести, коэффициенты теплового расширения) определяются как **средние** величины\*.

Другие значения этих параметров необходимо использовать, когда во внимание принимается продолжительность воздействия.

\* Потому что они используются в контактных задачах (взаимодействия)

# Обеспеченность нормативного сопротивления

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i ;$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{R})^2}$$

$$R_n = \bar{R} - 1,64 \cdot \sigma ; \quad v = \frac{\sigma}{\bar{R}}$$

$$R_n = \bar{R} \cdot (1 - 1,64 \cdot v)$$

$R_n$  – нормативное

$\bar{R}$  – сопротивление;

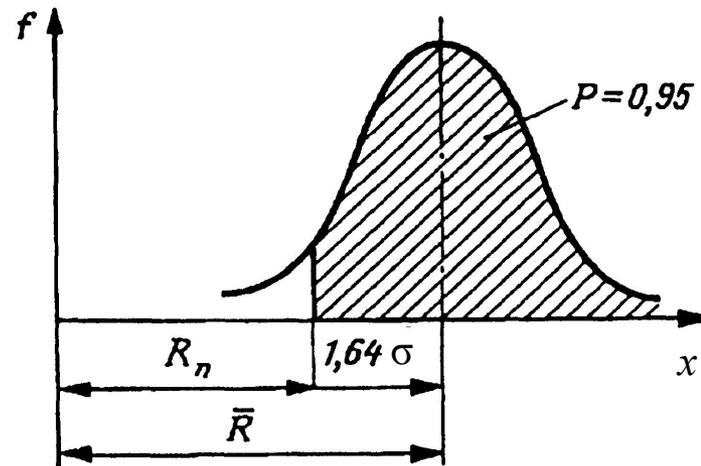
– среднее значение;

1,64 – показатель надёжности, гарантирующий обеспеченность 0,95;

$\sigma$  – стандарт распределения;

$v$  – коэффициент вариации.

Нормативные сопротивления назначают с обеспеченностью 0,95.



**Обеспеченность** – это вероятность благоприятной реализации значения переменной случайной величины.

**Например, для нагрузок обеспеченность – вероятность непревышения заданного значения; для характеристик материалов обеспеченность – вероятность незанижения заданного значения.**

Обеспеченность (доверительная вероятность) нормативного сопротивления 0,95 означает, что прочность 95% образцов не будет ниже нормативного значения.

# Расчётные значения характеристик материала и несущей способности

Расчетное значение свойств материала ( $X_d$ ) или продукта ( $R_d$ )  
(design value of a material or product property):

EN 1990,  
ст. 1.5.4.2

значение, полученное делением нормативного значения на парциальный коэффициент надёжности  $\gamma_m$  или  $\gamma_M$  (или, при особых обстоятельствах, заданное непосредственно):

$$X_d = \eta \cdot \frac{X_k}{\gamma_m}$$

$\eta$  – коэффициент конверсии (преобразования), учитывающий масштабный эффект, влияние влажности и температуры

Расчётное сопротивление (несущая способность) (resistance):

$$R_d = \frac{1}{\gamma_{Rd}} \cdot R \left\{ \eta \cdot \frac{X_k}{\gamma_m}; a_d \right\}$$

$$\text{или } R_d = R \left\{ \eta \cdot \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right\}$$

$a_d$  – геометрическая характеристика

$$\text{где } \gamma_M = \gamma_m \cdot \gamma_{Rd}$$

$\gamma_m$  – частный коэффициент надёжности свойств материала, учитывающий вероятность неблагоприятных отклонений свойств материала от характеристического значения;

$\gamma_{Rd}$  – частный коэффициент надёжности по несущей способности, учитывающий неопределённость (погрешности) модели сопротивления и геометрические отклонения.

# Расчётные процедуры (критерии)

Расчётные критерии (design criteria) – количественные условия, которые должны быть выполнены для каждого предельного состояния.

EN 1990,  
ст. 1.5.2.1

Общий вид условия расчёта

EQU

STR

EN 1990,  
ст. 6.4.2

$$E_{d,dst} \leq E_{d,stb}$$

$$E_d \leq R_d$$

Эффект опрокидывающего (дестабилизирующего) воздействия

Эффект удерживающего (стабилизирующего) воздействия

Эффект воздействия

Сопротивление

Критерии оценки:

по напряжениям	действующие напряжения	предельные напряжения
по усилиям	действующие усилия	предельные усилия
по перемещениям	фактические перемещения	предельные перемещения

# Метод предельных состояний (РФ)

Расчёт с использованием частных коэффициентов надёжности  
(полувероятностный метод)

в нашей стране – с 1955  
года

$$F \left\{ (q_n \cdot \gamma_f) \cdot \psi \cdot \gamma_n \right\} \leq \Phi \left\{ A; (R_n / \gamma_m) \cdot \gamma_c \right\}$$

нормативная нагрузка

коэффициент надёжности по нагрузке

коэффициент сочетаний

коэффициент надёжности по назначению

геометрия сечения

нормативное сопротивление

коэффициент надёжности по материалу

коэффициент условий работы

[-] Метод является **полувероятностным** – не оценивается надёжность в явном виде, не учитывается фактор времени

Применяется в качестве основного метода расчёта строительных конструкций и оснований в России и за рубежом

Расчётная нагрузка:

$$q = q_n \cdot \gamma_f$$

Расчётное сопротивление материала:

$$R = \frac{R_n}{\gamma_m}$$

# Нормативные и расчётные нагрузки (РФ)

Основными характеристиками нагрузок являются их **нормативные значения**  $q_n$ , устанавливаемые нормами проектирования или заданием на проектирование.

**Нормативные нагрузки соответствуют условиям нормальной эксплуатации сооружений.**

**Расчетное значение** нагрузки  $q$  – это результат умножения нормативного значения на коэффициент надежности по нагрузке.

**Расчётные нагрузки используются в расчётах конструкций по предельным состояниям.**

**Коэффициент надежности по нагрузке**  $\gamma_f$  учитывает возможное отклонение нагрузок в неблагоприятную (большую или меньшую) сторону от их нормативных значений.

**Как правило, неблагоприятным является отклонение в большую сторону** ( $\gamma_f > 1$ ).

$$q = q_n \cdot \gamma_f$$

$$\gamma_f \geq 1$$

$q_n$  – нормативная нагрузка;

$q$  – расчётная нагрузка;

$\gamma_f$  – коэффициент надёжности по нагрузке.

# Нормативные и расчётные сопротивления (РФ)

Основными характеристиками прочности материалов, используемые при проектировании, являются их **нормативные сопротивления**  $R_n$ , назначаемые на основе результатов испытаний стандартных образцов.

$$R = \frac{R_n}{\gamma_m}$$

$$\gamma_m \geq 1$$

$R_n$  – нормативное сопротивление;

$R$  – расчётное сопротивление;

$\gamma_m$  – коэффициент надёжности по материалу.

**Нормативные значения прочностных характеристик материалов устанавливаются в нормативных документах или технических условиях (ТУ) и контролируются при изготовлении конструкций, строительстве и эксплуатации строительного объекта.**

**Расчётное сопротивление**  $R$  – это результат деления нормативного сопротивления на коэффициент надёжности по материалу.

**Расчётные сопротивления используются в расчётах конструкций по предельным состояниям.**

**Коэффициент надёжности по материалу**  $\gamma_m$  учитывает возможное отклонение прочностных характеристик материалов в неблагоприятную (меньшую) сторону от их нормативных значений.

**Для металлических конструкций коэффициент**  $\gamma_m$  **учитывает также установленные допуски на размеры сечений проката.**

# Надёжность и долговечность

**EN 1990: Основы проектирования сооружений**

# Предмет теории надёжности

Теория надёжности исследует

- причины, вызывающие отказы объектов, модели возникновения и закономерности распределения отказов;
- методы обеспечения стабильности работы объектов, способы повышения их надёжности;
- способы количественной оценки и нормирования надёжности, связь между показателями эффективности и надёжности.

