

Казахская головная архитектурно-строительная  
академия

Дисциплина: Современное проектирование зданий и  
сооружений

Проверки с использованием метода  
частных коэффициентов

Хомяков Виталий Анатольевич  
Академический профессор, д.т.н.

Лекция 6



# Литература

---

## Основная литература

- Гульванесян Х., Калгаро Ж.-А., Голицки М.  
Руководство для проектировщиков к Еврокоду EN 1990: Основы проектирования сооружений.-М.:изд. МГСУ,2011-263с.
- Выдержки из Строительных Еврокодов. Пособие для студентов строительных специальностей. Перевод с английского. - Москва: МГСУ «Высшая школа», 2011.-656с.



# Общие положения

---

- (1)Р При выполнении расчетов с использованием метода частных коэффициентов, необходимо проверить, что во всех значимых расчётных ситуациях, характеризующихся воздействиями и сопротивлениями, принятыми в расчётных моделях, ни одно из возможных предельных состояний не превышено.
- (2) Для выбранных расчётных ситуаций и значимых предельных состояний отдельные воздействия следует комбинировать в соответствии с правилами настоящего раздела. Воздействия, которые не могут возникнуть одновременно, например, по физическим причинам, не следует рассматривать в комбинациях как совместные.
- (3) Расчетные значения воздействий должны определяться на основании:
  - – их характеристических значений; или
  - – других репрезентативных значений в комбинации с частными и другими коэффициентами, указанными в этом разделе и в Еврокодах EN 1991 – EN 1999.
- (4) Расчетные значения допускаются устанавливать непосредственным образом, принимая наиболее консервативные значения.
- (5)Р Расчетные значения, определяемые непосредственно на основании статистических данных, должны обеспечивать для разных предельных состояний, как минимум, такую же надежность, что и при применении частных коэффициентов, указанных в настоящем стандарте.



## Ограничения

---

- (1) Правила применения, изложенные в EN 1990, применимы только при проверках критических предельных состояний и предельных состояний по эксплуатационной пригодности при действии на сооружения статических нагрузок, а также в тех случаях, когда эффекты от динамических нагрузок, включая транспортные и ветровые, оцениваются с применением эквивалентных квазистатических нагрузок и коэффициентов динамичности. Для нелинейных расчётов и расчётов на усталость следует применять правила, приведённые в EN 1991 – EN 1999.



## Расчётные значения

### *Расчетные значения воздействий*

- (1) Расчетное значение  $F_d$  воздействия  $F$  может быть определено следующим образом:
- $F_d = \gamma_f F_{rep}$  (6.1a)
- при
- $F_{rep} = \psi F_k$  (6.1b)
- где
- $F_k$  – характеристическое значение воздействия;
- $F_{rep}$  – репрезентативное значение воздействия;
- $\gamma_f$  – частный коэффициент по нагрузке, учитывающий возможность неблагоприятного отклонения значения расчетного воздействия от его репрезентативного значения;
- $\psi$  – принимает значения 1,00 или  $\psi_0$ ,  $\psi_1$  и  $\psi_2$ .
- (2) Расчетное значение сейсмического воздействия  $AEd$  определяется с учетом поведения сооружения и других факторов, указанных в EN 1998.
-



## Расчётные значения


### Расчетные значения эффектов воздействий

- (1) Для случая специфической нагрузки расчетные значения эффектов ее воздействий ( $E_d$ ) могут быть представлены следующим образом:
  - $E_d = \gamma_{sd} E\{\gamma_{f,i} F_{rep,i}; a_d\} \quad i \geq 1, \quad (6.2)$
- где  $a_d$  – расчетное значение геометрических величин (см. 6.3.4);
- $\gamma_{sd}$  – частный коэффициент, учитывающий неопределенности:
- – моделирования эффектов воздействия;
  - – в некоторых случаях, моделирования воздействий.
- ПРИМЕЧАНИЕ Как правило, эффекты воздействия зависят также от свойств материала.
- (2) В большинстве случаев допускается следующее упрощение:
- $E_d = E\{\gamma_{F,i} F_{rep,i}; a_d\} \quad i \geq 1 \quad (6.2a)$
- при:
- $\gamma_{F,i} = \gamma_{sd} \gamma_{f,i} \quad (6.2b)$
- ПРИМЕЧАНИЕ В некоторых случаях, например, при необходимости учета геотехнических воздействий, частные коэффициенты  $\gamma_{F,i}$  могут применяться для эффектов от каждого отдельного воздействия; для эффекта от комбинации воздействий, принятых с соответствующими частными коэффициентами, можно применять один частный коэффициент  $\gamma_F$



## Расчётные значения

### *Расчетные значения показателей свойств материалов и изделий*

- (1) Расчетное значение показателя свойств материала или изделия  $X_d$  в общем случае можно определить следующим образом:
$$X_d = \eta \frac{X_k}{\gamma_m} \quad , (6.3)$$
  - где
  - $X_k$  – характеристическое значение показателя свойств материала или изделия (см. 4.2 (3));
  - $\eta$  – среднее значение коэффициента конверсии, учитывающее:
    - – эффекты объема и масштаба;
    - – влажность и температуру;
    - – другие значимые параметры;
  - $\gamma_m$  – частный коэффициент для показателей свойств материала или изделия, учитывающий:
    - – возможность неблагоприятных отклонений свойств материала или изделия от характеристического значения;
    - – случайную составляющую коэффициента конверсии  $\eta$ .
  - (2) В соответствующих случаях, в качестве альтернативы, коэффициент  $\eta$  может:
    - – неявно учитываться при назначении характеристического значения; или
    - – быть учтен посредством применения  $\gamma_M$  вместо  $\gamma_m$  (см. Выражение (6.6b)).
  - ПРИМЕЧАНИЕ Расчетное значение можно определить:
    - – через эмпирическую зависимость с физическими свойствами; или
    - – с химическим составом; или
    - – на основании предшествующего опыта; или
    - – на основе данных Европейских стандартов и других соответствующих документов.
- 



# Расчётные значения

## Расчетные значения геометрических величин

- (1) Расчетные значения геометрических величин, таких как размеры элементов конструкции, которые используются для определения эффектов воздействия или несущей способности, могут приниматься по номинальным значениям:
- $a_d = a_{nom}$ . (6.4)
- (2) В тех случаях, когда эффекты отклонений геометрических величин (например, обусловленные неточностями месторасположения нагрузок или опор) являются существенными для оценки надежности сооружения (например, при учете эффектов второго порядка), расчетные значения геометрических величин следует устанавливать следующим образом:
  - $a_d = a_{nom} \pm \Delta a$ , (6.5)
  - где  $\Delta a$  учитывает:
    - возможность неблагоприятных отклонений от характеристических или номинальных значений;
    - кумулятивный эффект одновременной реализации нескольких геометрических отклонений.
  - ПРИМЕЧАНИЕ 1 Параметр  $a_d$  может также описывать геометрические дефекты, при этом  $a_{nom} = 0$  (т. е.  $\Delta a \neq 0$ ).
  - ПРИМЕЧАНИЕ 2 Дополнительные данные приведены в EN 1991 – EN 1999.
- (3) Влияние других геометрических отклонений учитывается при помощи соответствующих частных коэффициентов:
  - –  $\gamma_F$  – для воздействий; и/или
  - –  $\gamma_M$  – для расчетных сопротивлений.
  - ПРИМЕЧАНИЕ Допуски установлены в стандартах на производство работ, на которые даны ссылки в EN1990 – EN 1999.
-



## Расчётные значения

### Расчетное сопротивление (несущая способность)

- (1) Расчетное значение сопротивления  $R_d$  может быть выражено следующим образом:
$$R_d = \frac{1}{\gamma_{Rd}} R\{X_{d,i}; \alpha_d\} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} R\left\{\eta_i \frac{X_{k,i}}{\gamma_{m,i}}; \alpha_d\right\} \quad i \geq 1, \quad (6.6)$$
- где
- $\gamma_{Rd}$  – частный коэффициент, учитывающий неопределенности модели сопротивления и геометрические отклонения, если они не учтены в соответствии с 6.3.4 (2);
- $X_{d,i}$  – расчетное значение  $i$ -го показателя свойства материала.
- (2) Выражение (6.6) может быть упрощено следующим образом:
$$R_d = R\left\{\eta_i \frac{X_{k,i}}{\gamma_{M,i}}; \alpha_d\right\} \quad i \geq 1, \quad (6.6a)$$
- где
- $\gamma_{M,i} = \gamma_{Rd} \times \gamma_{m,i} \quad (6.6b)$
- ПРИМЕЧАНИЕ В  $\gamma_{M,i}$  может содержаться  $\eta_i$ ; см. 6.3.3(2).
-



# продолжение

---

- (3) В качестве альтернативы (6.6a), значение расчетного сопротивления может определено непосредственно из характеристического значения сопротивления материала или изделия, без явного определения расчетных значений отдельных базисных переменных, по формуле:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (6.6c)$$

- ПРИМЕЧАНИЕ Данное соотношение применимо к изделиям и конструктивным элементам, выполненным из одного строительного материала (например, стали) и также используется в Приложении D.

- (4) Как альтернатива Выражениям (6.6a) и (6.6c), для сооружений или их конструктивных элементов, при расчете которых используются нелинейные методы и которые выполнены из различных материалов, работающих совместно, или для случаев, когда свойства основания учтены в расчётном сопротивлении, может использоваться следующее выражение для расчетного сопротивления:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_{M,1}} R \left\{ \eta_1 X_{k,1}; \eta_i X_{k,i(i>1)} \frac{\gamma_{m,1}(6.6d)}{\gamma_{m,i}} \right\}$$

- ПРИМЕЧАНИЕ В некоторых случаях, расчетное сопротивление может быть определено непосредственно через коэффициенты безопасности  $\gamma_M$  для свойств материала.

# Критические предельные состояния

- (1)Р При проектировании сооружения необходимо проверять следующие критические предельные состояния:
- а) **ЕQU**: потеря статического равновесия сооружением или любой его части, рассматриваемых как жесткое тело, для которого:
  - – незначительные изменения значения или пространственного распределения постоянных воздействий одинакового происхождения, являются значимыми; и
  - – прочность материалов конструкций или основания, как правило, не являются определяющими;
- б) **STR**: отказ по внутренней причине или в результате чрезмерных деформаций сооружения или его конструктивных элементов, включая фундаменты, сваи, стены подвалов и т.д., для которых прочность строительных материалов и основания является определяющей;
- в) **GEO**: отказ или чрезмерные деформации оснований, для которых прочность грунтов или скальных формаций являются определяющими;
- д) **FAT**: отказ сооружения или его частей в связи с усталостными явлениями.
- ПРИМЕЧАНИЕ Комбинации воздействий, которые учитываются при оценке усталостной прочности, указаны в Еврокодах EN 1992 - EN 1999.
- е) **UPL**: Потеря устойчивости сооружением или грунтом основания в результате их подъема при давлении воды (возникновения выталкивающей силы, иначе – плавучести) или других вертикальных воздействий;
- ф) **HYD**: Гидравлическая вертикальная раскачка, внутренняя эрозия и суффузия грунта, вызванные гидростатическим давлением (подземными водами).
- (2)Р На расчетные значения воздействий распространяется Приложение А.

# Проверка устойчивости и несущей способности

- 1)Р При проверке предельного состояния статического равновесия сооружения (EQU) должно проверяться условие:
  - $E_{d,dst} \leq R_{d,stab}$  (6.7)
  - Где:  $E_{d,dst}$  – расчетное значение эффекта дестабилизирующих воздействий;
  - $R_{d,stab}$  – расчетное значение эффекта стабилизирующих воздействий.
- (2) При необходимости выражение для проверки предельного состояния статического равновесия может включать в себя дополнительные члены как, например, коэффициент трения между жесткими телами.
- (3)Р При рассмотрении предельного состояния, связанного с разрушением или чрезмерной деформацией секции, элемента или соединения (STR и/или GEO) должно быть проверено что:
  - $E_d \leq R_d$  (6.8)
  - Где:  $E_d$  – расчетное значение эффекта воздействий, например внутренней силы, момента или вектора, характеризующего несколько внутренних сил и моментов;
  - $R_d$  – расчетное значение соответствующего сопротивления (несущей способности).



# Комбинации воздействий (без учета воздействий, приводящих к усталостным явлениям)

---

- (1)Р Расчетные значения эффектов воздействий ( $E_d$ ) следует определять, комбинируя значения одновременных воздействий.
- (2) Каждая комбинация воздействий должна включать:
  - – доминирующее переменное воздействие, или
  - – особое воздействие.
- (3) Комбинации воздействий следует принимать согласно 6.4.3.2 – 6.4.3.4.
- (4)Р В тех случаях, когда сооружение чувствительно к пространственному распределению постоянных воздействий, неблагоприятные и благоприятные части этого воздействия должны рассматриваться как отдельные воздействия.
  - ПРИМЕЧАНИЕ Это, прежде всего, относится к проверкам статического равновесия и аналогичных предельных состояний, см. 6.4.2(2).
- 5) В тех случаях, когда, несколько эффектов одного воздействия (например, изгибающий момент и нормальная сила от собственного веса) полностью не коррелированы, частный коэффициент, соответствующий его любой благоприятной составляющей, может быть уменьшен.
  - ПРИМЕЧАНИЕ Дополнительные указания приведены в EN 1992 – EN 1999.
- (6) В соответствующих случаях следует учитывать приложенные деформации.
  - ПРИМЕЧАНИЕ Дополнительные указания см.в 5.1.2(4)Р и EN 1992 – EN 1999.

# Комбинации воздействий для постоянных или переходных расчетных ситуаций (основные комбинации)

- (1) В общем виде эффект воздействий может быть представлен следующим образом:
- $$E_d = \gamma_{sd} E\{\gamma_{g,j} G_{k,j}; \gamma_p P; \gamma_{q,1} Q_{k,1}; \gamma_{q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}\} \quad j \geq 1; i > 1 \quad (6.9a)$$
- (2) Комбинация эффектов воздействий, подлежащих рассмотрению, должна быть включать:
  - – расчетное значение доминирующего переменного воздействия, и
  - – расчетную комбинацию значений сопутствующих переменных воздействий.
- ПРИМЕЧАНИЕ См. также 6.4.3.2(4).
- $$E_d = E\{\gamma_{G,j} G_{k,j}; \gamma_P P; \gamma_{Q,1} Q_{k,1}; \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}\} \quad j \geq 1; i > 1$$



# продолжение

- (3) Комбинация воздействий в скобках { }, указанная в Формуле (6.9b) может быть выражена следующим образом:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G_j} G_{kj} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{b \geq 1} \gamma_{Q_i} \psi_{0,i} Q_{ki} \quad (6.10)$$

- или, в качестве альтернативы для предельных состояний STR и GEO, как одно из двух следующих выражений, реализующих более неблагоприятное состояние:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j \geq 1} \gamma_{G_j} G_{kj} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{b \geq 1} \gamma_{Q_i} \psi_{0,i} Q_{ki} \quad (6.10a) \\ \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G_j} G_{kj} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{b \geq 1} \gamma_{Q_i} \psi_{0,i} Q_{ki} \quad (6.10b) \end{array} \right.$$

- Где: – «должен сочетаться с»;
- $\Sigma$  - «комбинированный эффект от»;
- $\xi$  – коэффициент редукции для неблагоприятных постоянных воздействий  $G$ .
- ПРИМЕЧАНИЕ Дополнительные данные по применению метода указаны в Приложении А.
- (4) Если связь между воздействиями и их эффектами нелинейная, то Выражения (6.9a) или (6.9b) должны применяться непосредственно, в зависимости от относительного увеличения эффектов воздействий по сравнению с увеличением величин воздействий (см. также 6.3.2. (4)).

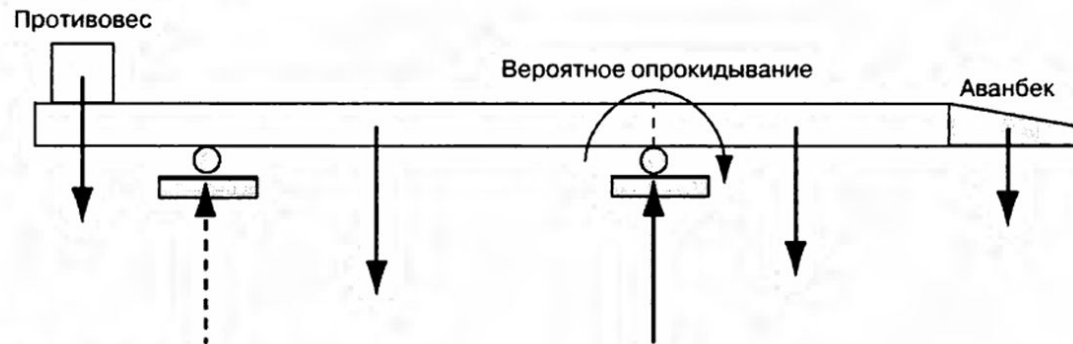
# Комбинации воздействий при аварийных расчетных ситуациях

- (1) В общем случае эффект воздействий определяется следующим выражением:
- $E_d = E\{G_{k,j}; P; A_d; (\psi_{1,1} \text{ или } \psi_{2,1})Q_{k,1}; \psi_{2,i}Q_{k,i}\} \quad j \geq 1; i > 1. \quad (6.11a)$
- (2) Комбинация воздействий в скобках  $\{ \}$  может быть выражена следующим образом:  
$$\sum_{j=1} G_{k,j} + " P " + " A_d " + " (\psi_{1,1} \text{ или } \psi_{2,1})Q_{k,1} " + \sum_{i=1} \psi_{2,i}Q_{k,i} \quad (6.11b)$$
- (3) Выбор между  $\psi_{1,1}Q_{k,1}$  и  $\psi_{2,1}Q_{k,1}$  зависит от рассматриваемой аварийной расчетной ситуации (удар, пожар или сохранение жизни людей после аварийного события или ситуации).
- (4) Комбинация воздействий для аварийных расчетных ситуаций должна содержать в себе:
  - – явное аварийное воздействие  $A$  (пожар или удар); или
  - – относится к ситуации после аварийного воздействия ( $A = 0$ ).
- Для пожароопасных ситуаций, помимо влияния температурного эффекта на свойства материалов, параметр  $A_d$  должен учитывать расчетное значение косвенных эффектов термического воздействия при пожаре.



# Потеря статического равновесия

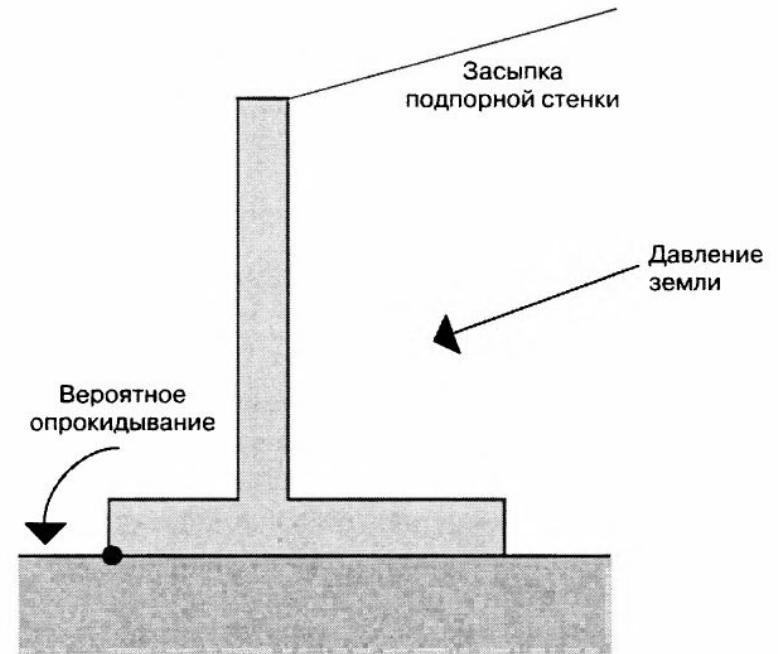
- Обычно в соответствии с определением предельные состояния статического равновесия не зависят от прочности материала. Превышение предельного состояния вызывает в большинстве случаев немедленное обрушение.
- Таким образом, потеря статического равновесия - это основное предельное состояние. Примеры таких предельных состояний встречаются не очень часто. На рис. 6.5 показан пример наводимого настила моста с противовесом, когда потеря статического равновесия может быть возможной.



**Рис. 6.5. Пример наведения настила моста**

## Потеря статического равновесия

В случае фундаментов предельные состояния статического равновесия почти всегда представляют идеализацию более сложных предельных состояний. На рис. 6.6 показан пример подпорной стенки с основанием, лежащим непосредственно на каменных подстилающих породах: предельное состояние опрокидывания вокруг точки А следует рассматривать для проверки размеров основания, поскольку не может быть определено критерия, относящегося к сопротивлению грунта. В самом деле, опрокидывание подпорной стенки обычно является следствием разрушения грунта при контакте с основанием стенки.



**Рис. 6.6. Подпорная стенка, установленная на камень**



# Комбинации сейсмических воздействий для расчетных ситуаций

---

- (1) Для рассматриваемой расчетной ситуации эффект воздействий должен быть представлен в следующем общем виде:
- $E_d = E\{G_{k,j}; P; A_{Ed}; (\psi_{2,i} Q_{k,i})\} \quad j \geq 1; i > 1. \quad (6.12a)$
- (2) Комбинация воздействий, указанная в скобках { }, может быть представлена следующим образом:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_{Ed} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$



# Частные коэффициенты

---

- **Частные коэффициенты для воздействий и комбинаций воздействий**
  - 
  - (1) Значения коэффициентов  $\gamma$  и  $\psi$  следует принимать в соответствии с EN 1991 и Приложением A1.
  -
- **Частные коэффициенты для материалов и изделий**
  - 
  - (1) Частные коэффициенты для материалов и изделий приведены в Еврокодах EN 1992 – EN 1999.

# Предельные состояния по эксплуатационной пригодности

## Проверки

- (1) Следует подтвердить, что:
- $E_d \leq C_d$ , (6.13)
- Где:
- $C_d$  – предельное расчетное значение критерия эксплуатационной пригодности;
- $E_d$  – расчетное значение эффектов от комбинации воздействий, учтенных в критерии эксплуатационной пригодности.

## Критерии эксплуатационной пригодности

- (1) Деформации, которые должны быть приняты во внимание при проверке требований по обеспечению эксплуатационной пригодности, следует принимать в соответствии с указаниями Приложения А, исходя из типа сооружения, или же они должны быть согласованы с заказчиком или с национальным полномочным органом.
- ПРИМЕЧАНИЕ Другие критерии эксплуатационной пригодности, такие как ширина трещин, предельные напряжения и удлинения, сопротивление скольжению, установлены в EN 1991 – EN 1999.

# Комбинации воздействий

## Характеристическая комбинация

- $$E_d = E\{G_{k,j}; P; Q_{k,1}; \psi_{0,i} Q_{k,i}\} \quad j \geq 1; \quad i > 1 \quad (6.14a)$$

- в которой комбинация воздействий в скобках { } (называемая характеристической комбинацией) имеет вид:

- $$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.14b)$$

- ПРИМЕЧАНИЕ Характеристическая комбинация применяется, как правило, для необратимых предельных состояний.

## Частая комбинация

- $$E_d = E\{G_{k,j}; P; \psi_{1,1} Q_{k,1}; \psi_{2,i} Q_{k,i}\} \quad j \geq 1; i > 1, \quad (6.15a)$$

- в которой комбинация воздействий в скобках { } может быть выражена следующим образом:

- $$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

(6.15b)

- ПРИМЕЧАНИЕ Частая комбинация применяется, как правило, для обратимых предельных состояний.

# Комбинации воздействий

## Квазипостоянная комбинация

- $E_d = E\{G_{k,j}; P; \psi_{2,i} Q_{k,i}\}; \quad j \geq 1; i \geq 1, \quad (6.16a)$
- в которой комбинация воздействий в скобках  $\{ \}$  (называемая квазипостоянной) может быть выражена следующим образом:
- $$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (6.16b)$$
- Обозначения указаны в 1.6. и 6.4.3(1).
- ПРИМЕЧАНИЕ Квазипостоянная комбинация, как правило, применяется для учета длительных эффектов и оценки внешнего вида сооружения.
- (3) Репрезентативные значения предварительного напряжения ( $P_k$  или  $P_m$ ) указаны в соответствующих Еврокодах для рассматриваемых типов преднапряжения.
- (4) Р Эффекты воздействий, связанные с заданными деформациями, следует рассматривать только в необходимых случаях.
- ПРИМЕЧАНИЕ В некоторых случаях Выражения (6.14) и (6.16) требуют уточнений. Руководство по осуществлению таких уточнений содержится в соответствующих разделах EN 1991 – EN 1999.



## Частные коэффициенты для материалов

---

- (1) Для предельных состояний по эксплуатационной пригодности частные коэффициенты  $\gamma_M$  для материалов должны быть приняты равными 1,0, если в Еврокодах EN 1992 – EN 1999 не установлены их другие значения.