

NDM Start R1

Диаграммы деформирования материалов

Приложение: NDM Start

Версия: R1

Описание: Диаграммный метод расчета плоских железобетонных сечений на прочность

Дата: 2021-06-09

Разработка: <https://constructionlab.ru>

E-mail: support@constructionlab.ru

Содержание

1	Общие положения.....	4
2	Криволинейные диаграммы деформирования тяжелого бетона	5
3	Криволинейные диаграммы деформирования арматуры с физической площадкой текучести	9
4	Приложение А. Нормативные диаграммы деформирования тяжелого бетона при сжатии	12
5	Приложение Б. Нормативные диаграммы деформирования арматуры с физической площадкой текучести	13
6	Литература.....	14

1 Общие положения

Диаграммы деформирования тяжелого бетона и арматуры в приложении NDM Start представлены криволинейные в соответствии с методическим пособием «Автоматизированные методы расчета массивных железобетонных конструкций при объемном напряженном состоянии», разработанным ФАУ «ФЦС» [2].

Основные механические и деформационные характеристики бетона принимаются по [1]. В данном руководстве приводятся только нормативные диаграммы деформирования тяжелого бетона и арматуры. Для перехода к расчетным диаграммам необходимо нормативные сопротивления материалов заменить на расчетные.

2 Криволинейные диаграммы деформирования тяжелого бетона

Аналитическая зависимость деформирования тяжелого бетона при **сжатии** и кратковременном нагружении принимается в следующем виде (см. рисунок 1):

$$\varepsilon_{bc} = \frac{\sigma_{bc}}{E_b \nu_{bc}}, \quad (2.1)$$

где ε_{bc} – относительная деформация сжатия бетона (отрицательная величина);

σ_{bc} – напряжение сжатия в бетоне (отрицательная величина), МПа;

E_b – начальный модуль упругости бетона, МПа;

ν_{bc} – коэффициент изменения секущего модуля бетона при сжатии:

для восходящей ветви диаграммы:

$$\nu_{bc} = \nu_{bc,top} + (\nu_{bc,start} - \nu_{bc,top}) \sqrt{1 - \omega_{bc} \eta_{bc} - (1 - \omega_{bc}) \eta_{bc}^2}, \quad (2.2)$$

для нисходящей ветви диаграммы:

$$\nu_{bc} = \nu_{bc,top} - (\nu_{bc,start} - \nu_{bc,top}) \sqrt{1 - \omega_{bc} \eta_{bc} - (1 - \omega_{bc}) \eta_{bc}^2}, \quad (2.3)$$

где $\nu_{bc,top}$ – коэффициент изменения секущего модуля бетона при сжатии в вершине диаграммы (положительная величина);

$\nu_{bc,start}$ – начальный коэффициент изменения секущего модуля бетона при сжатии;

ω_{bc} – коэффициент, характеризующий кривизну диаграммы бетона при сжатии;

η_{bc} – уровень напряжений в бетоне при сжатии (положительная величина).

Коэффициент изменения секущего модуля бетона при сжатии в вершине диаграммы (положительная величина):

$$\nu_{bc,top} = \left| \frac{R_{bc,n}}{E_b \varepsilon_{bc,top}} \right|, \quad (2.4)$$

где $R_{bc,n}$ – нормативная призмная прочность бетона с обеспеченностью 0,95 при сжатии, МПа;

$\varepsilon_{bc,top}$ – относительная деформация бетона при сжатии в вершине диаграммы (отрицательная величина):

$$\varepsilon_{bc,top} = -\frac{B}{E_b} \cdot \frac{1 + \left(0,80 - 0,15 \frac{B^2}{10000}\right) \frac{B}{60} + \frac{0,20}{B}}{0,12 + 1,03 \frac{B}{60}}, \quad (2.5)$$

где B – класс бетона по прочности на сжатие с обеспеченностью 0,95 (кубиковая прочность), МПа.

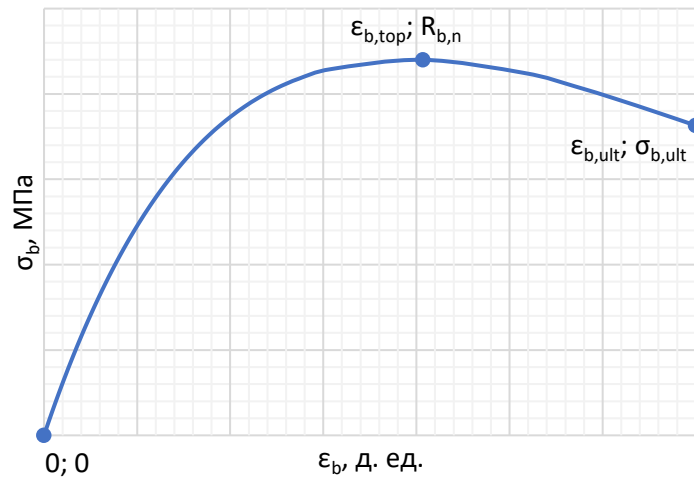


Рисунок 1 – Криволинейная диаграмма деформирования тяжелого бетона

Начальный коэффициент изменения текущего модуля бетона при сжатии:

для восходящей ветви диаграммы:

$$v_{bc,start} = 1,0, \quad (2.6)$$

для нисходящей ветви диаграммы:

$$v_{bc,start} = 2,05v_{bc,top}. \quad (2.7)$$

Коэффициент, характеризующий кривизну диаграммы бетона при сжатии:

для восходящей ветви диаграммы:

$$\omega_{bc} = 2,00 - 2,50v_{bc,top}, \quad (2.8)$$

для нисходящей ветви диаграммы:

$$\omega_{bc} = 1,95v_{bc,top} - 0,138. \quad (2.9)$$

Уровень напряжений в бетоне при сжатии (положительная величина):

$$\eta_{bc} = \left| \frac{\sigma_{bc}}{R_{bc,n}} \right|. \quad (2.10)$$

Аналитическая зависимость деформирования тяжелого бетона при **растяжении** и кратковременном нагружении принимается в следующем виде (см. рисунок 1):

$$\varepsilon_{bt} = \frac{\sigma_{bt}}{E_b v_{bt}}, \quad (2.11)$$

где ε_{bt} – относительная деформация растяжения бетона (положительная величина);

σ_{bt} – напряжение растяжения в бетоне (положительная величина), МПа;

E_b – начальный модуль упругости бетона, МПа;

v_{bt} – коэффициент изменения секущего модуля бетона при растяжении:

для восходящей ветви диаграммы:

$$v_{bt} = v_{bt,top} + (v_{bt,start} - v_{bt,top})\sqrt{1 - \omega_{bt}\eta_{bt} - (1 - \omega_{bt})\eta_{bt}^2}, \quad (2.12)$$

для нисходящей ветви диаграммы:

$$v_{bt} = v_{bt,top} - (v_{bt,start} - v_{bt,top})\sqrt{1 - \omega_{bt}\eta_{bt} - (1 - \omega_{bt})\eta_{bt}^2}, \quad (2.13)$$

где $v_{bt,top}$ – коэффициент изменения секущего модуля бетона при растяжении в вершине диаграммы;

$v_{bt,start}$ – начальный коэффициент изменения секущего модуля бетона при растяжении;

ω_{bt} – коэффициент, характеризующий кривизну диаграммы бетона при растяжении;

η_{bt} – уровень напряжений в бетоне при растяжении.

Коэффициент изменения секущего модуля бетона при растяжении в вершине диаграммы:

$$v_{bt,top} = 0,55 + 0,06R_{bt,n}, \quad (2.14)$$

где $R_{bt,n}$ – нормативная прочность бетона с обеспеченностью 0,95 на осевое растяжение, МПа.

Начальный коэффициент изменения секущего модуля бетона при растяжении:

для восходящей ветви диаграммы:

$$v_{bt,start} = 1,0, \quad (2.15)$$

для нисходящей ветви диаграммы:

$$v_{bt,start} = 2,05v_{bt,top}. \quad (2.16)$$

Коэффициент, характеризующий кривизну диаграммы бетона при растяжении:

для восходящей ветви диаграммы:

$$\omega_{bt} = 2,00 - 2,50v_{bt,top}, \quad (2.17)$$

для нисходящей ветви диаграммы:

$$\omega_{bt} = 1,95v_{bt,top} - 0,138. \quad (2.18)$$

Уровень напряжений в бетоне при растяжении:

$$\eta_{bt} = \frac{\sigma_{bt}}{R_{bt,n}}. \quad (2.19)$$

Относительная деформация бетона при растяжении в вершине диаграммы:

$$\varepsilon_{bt,top} = \frac{R_{bt,n}}{E_b \nu_{bt,top}}. \quad (2.20)$$

3 Криволинейные диаграммы деформирования арматуры с физической площадкой текучести

В приложении в соответствии с [1] арматура с физической площадкой текучести классов по прочности на растяжение A240, A400, A500. Дополнительные характеристики для построения диаграмм приведены в таблице 3.1 [2].

Таблица 3.1 – Дополнительные характеристики арматуры с физической площадкой текучести

Класс арматуры	Характеристики				
	$\gamma_{s,el}$	$\gamma_{s,p}$	$\epsilon_{s,p}$	$\gamma_{s,u}$	$\epsilon_{s,u}$
A240	0,97	1,01	0,015	2,00	0,190
A400	0,90	1,05	0,012	1,45	0,140
A500	0,85	1,07	0,008	1,30	0,100

Примечания:

1. При использовании арматуры определенного класса необходимо уточнять допустимые диаметры по соответствующим стандартам.
2. Предельные расчетные относительные деформации арматуры с физической площадкой текучести ограничиваются значением $\epsilon_{s,ult} = 0,025$.

Аналитическая зависимость деформирования арматуры с физической площадкой текучести описывается формулами (3.1) – (3.8) и делится на три участка (см. рисунок 2):

- линейный участок $O-E$;
- криволинейный участок $E-A-P$;
- криволинейный участок $P-K-U$.

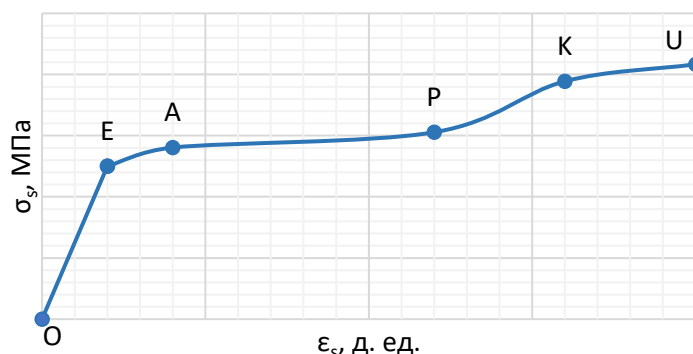


Рисунок 2 – Криволинейная диаграмма деформирования арматуры с физической площадкой текучести

Линейный участок O-E

Линейный участок описывается формулой (3.1), в которой принимается $\nu_s = 1$.

Конец линейного участка – точка E:

$$\sigma_{s,E} = \pm R_{s,n} \gamma_{s,el}, \quad (3.1)$$

где $\gamma_{s,el}$ – см. таблицу 3.1;

$$\varepsilon_{s,E} = \frac{\sigma_{s,E}}{E_s}. \quad (3.2)$$

Криволинейный участок E-A-P

Начало криволинейного участка – точка E:

$$\sigma_{s,start} = \sigma_{s,E} = \pm R_{s,n} \gamma_{s,el}, \quad (3.3)$$

где $\gamma_{s,el}$ – см. таблицу 3.1;

$$\varepsilon_{s,start} = \varepsilon_{s,E} = \frac{\sigma_{s,E}}{E_s}; \quad (3.4)$$

$$\nu_{s,start} = \left| \frac{\sigma_{s,start}}{E_s \varepsilon_{s,start}} \right| = \left| \frac{\sigma_{s,E}}{E_s \varepsilon_{s,E}} \right| = 1. \quad (3.5)$$

Вершина криволинейного участка – точка P:

$$\sigma_{s,top} = \sigma_{s,P} = \pm R_{s,n} \gamma_{s,p}, \quad (3.6)$$

где $\gamma_{s,p}$ – см. таблицу 3.1;

$$\varepsilon_{s,top} = \varepsilon_{s,P} = \pm \varepsilon_{s,p}, \quad (3.7)$$

где $\varepsilon_{s,p}$ – см. таблицу 3.1;

$$\nu_{s,top} = \left| \frac{\sigma_{s,top}}{E_s \varepsilon_{s,top}} \right| = \left| \frac{\sigma_{s,P}}{E_s \varepsilon_{s,P}} \right|. \quad (3.8)$$

Промежуточная точка криволинейного участка – точка A:

$$\sigma_{s,inter} = \sigma_{s,A} = \pm R_{s,n}; \quad (3.9)$$

$$\varepsilon_{s,inter} = \varepsilon_{s,A} = \pm \left(\frac{R_{s,n}}{E_s} + 0,002 \right); \quad (3.10)$$

$$\nu_{s,inter} = \left| \frac{\sigma_{s,inter}}{E_s \varepsilon_{s,inter}} \right| = \left| \frac{\sigma_{s,A}}{E_s \varepsilon_{s,A}} \right| = \frac{R_{s,n}}{R_{s,n} + 0,002 E_s}; \quad (3.11)$$

$$\eta_{s,inter} = \left| \frac{\sigma_{s,inter} - \sigma_{s,start}}{\sigma_{s,top} - \sigma_{s,start}} \right| = \left| \frac{\sigma_{s,A} - \sigma_{s,E}}{\sigma_{s,P} - \sigma_{s,E}} \right| = \frac{1 - \gamma_{s,el}}{\gamma_{s,p} - \gamma_{s,el}}. \quad (3.12)$$

Криволинейный участок P-K-U

Начало криволинейного участка – точка P (см. формулы (3.6) и (3.7):

$$\sigma_{s,start} = \sigma_{s,P}; \quad (3.13)$$

$$\varepsilon_{s,start} = \varepsilon_{s,P}; \quad (3.14)$$

$$v_{s,start} = \left| \frac{\sigma_{s,start}}{E_s \varepsilon_{s,start}} \right| = \left| \frac{\sigma_{s,P}}{E_s \varepsilon_{s,P}} \right|. \quad (3.15)$$

Вершина криволинейного участка – точка U:

$$\sigma_{s,top} = \sigma_{s,U} = \pm R_{s,n} \gamma_{s,u}, \quad (3.16)$$

где $\gamma_{s,u}$ – см. таблицу 3.1.

$$\varepsilon_{s,top} = \varepsilon_{s,U} = \pm \varepsilon_{s,u}, \quad (3.17)$$

где $\varepsilon_{s,u}$ – см. таблицу 3.1.

$$v_{s,top} = \left| \frac{\sigma_{s,top}}{E_s \varepsilon_{s,top}} \right| = \left| \frac{\sigma_{s,U}}{E_s \varepsilon_{s,U}} \right|. \quad (3.18)$$

Промежуточная точка криволинейного участка – точка K:

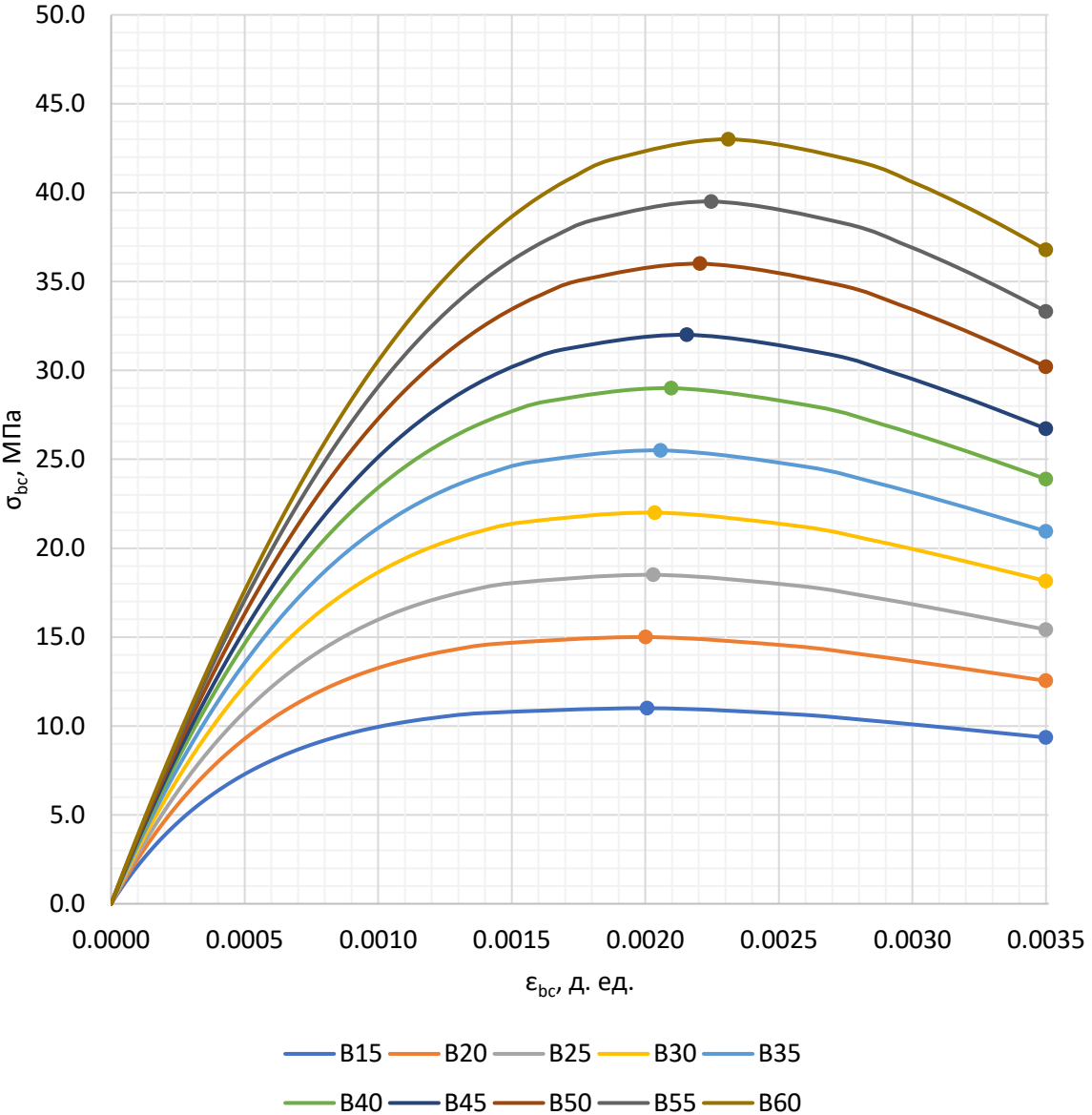
$$\sigma_{s,inter} = \sigma_{s,K} = \pm (\sigma_{s,P} + 0,2(\sigma_{s,U} - \sigma_{s,P})) = \pm R_{s,n} (0,8\gamma_{s,p} + 0,2\gamma_{s,u}); \quad (3.19)$$

$$\varepsilon_{s,inter} = \varepsilon_{s,K} = 1,2\varepsilon_{s,p}; \quad (3.20)$$

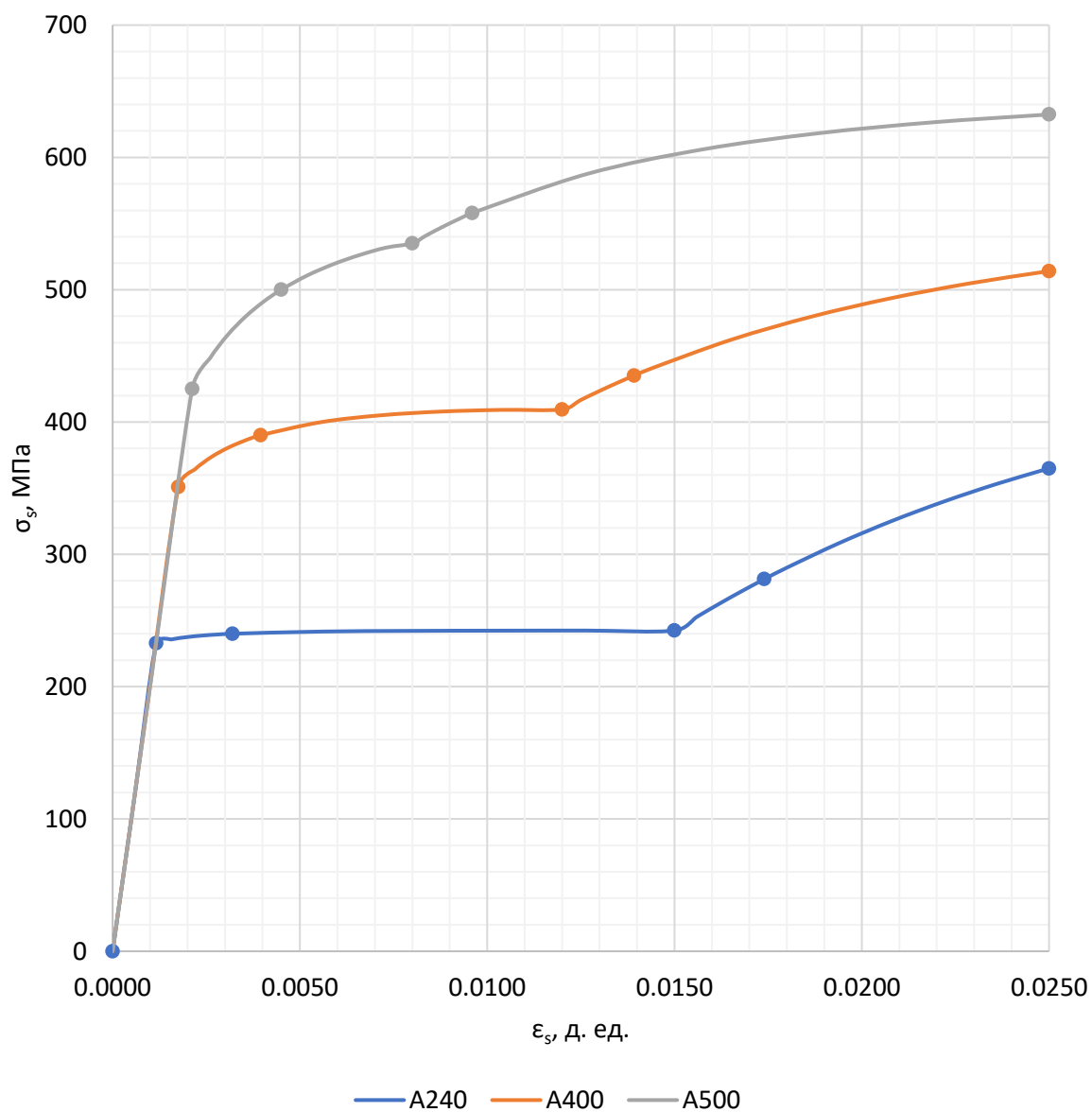
$$v_{s,inter} = \left| \frac{\sigma_{s,inter}}{E_s \varepsilon_{s,inter}} \right| = \left| \frac{\sigma_{s,K}}{E_s \varepsilon_{s,K}} \right|; \quad (3.21)$$

$$\eta_{s,inter} = \left| \frac{\sigma_{s,inter} - \sigma_{s,start}}{\sigma_{s,top} - \sigma_{s,start}} \right| = \left| \frac{\sigma_{s,K} - \sigma_{s,P}}{\sigma_{s,U} - \sigma_{s,P}} \right| = 0,2. \quad (3.22)$$

4 Приложение А. Нормативные диаграммы деформирования тяжелого бетона при сжатии



5 Приложение Б. Нормативные диаграммы деформирования арматуры с физической площадкой текучести



6 Литература

1. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 (с изменением № 1) / НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство». М.: Минстрой России, 2018.
2. Автоматизированные методы расчета массивных железобетонных конструкций при объемном напряженном состоянии: методическое пособие / ФАУ «ФЦС». М.: Минстрой России, 2019.