

# Конструкции сталефибробетонные

Настоящий свод правил распространяется на проектирование сталефибробетонных конструкций зданий и сооружений различного назначения.

Свод правил устанавливает требования к проектированию сталефибробетонных конструкций, изготовляемых из тяжелого и мелкозернистого бетонов, и эксплуатируемых в климатических условиях Российской Федерации (при систематическом воздействии температур не выше плюс  $50^{\circ}\text{C}$  и не ниже минус  $70^{\circ}\text{C}$ ), **в среде с неагрессивной степенью воздействия при статическом действии нагрузки.**

## Термины и определения:

**сталефибробетон:** Тяжелый или мелкозернистый бетон на плотных заполнителях (бетон-матрица), армированный равномерно распределенными в его объеме стальными волокнами, имеющими сцепление с бетоном по их поверхности.

**фибра:** Стальные короткие волокна, резанные из листа, фрезерованные из сляба или рубленые из проволоки.

**сталефибробетонные конструкции:** Конструкции из сталефибробетона без стержневой арматуры или комбинированно армированные – с рабочей (в том числе предварительно напряженной) и/или конструктивной стержневой арматурой.

**процент фибрового армирования по массе:** Отношение массы фибр, содержащихся в единице объема сталефибробетона, к массе этой единицы объема, %.

**коэффициент фибрового армирования по объему:** Относительное содержание объема фибр в единице объема сталефибробетона.

## Общие требования

Сталефибробетон рекомендуется применять для изготовления конструкций, в которых эффективно могут быть использованы следующие его характеристики:

- повышенные трещиностойкость, ударная прочность, *вязкость разрушения*, износостойкость, *морозостойкость*, сопротивление кавитации;
- пониженные усадка и ползучесть.

## Общие требования

Сталефибробетон рекомендуется применять для изготовления конструкций, в которых эффективно могут быть использованы следующие его характеристики:

- повышенные трещиностойкость, ударная прочность, *вязкость разрушения*, износостойкость, *морозостойкость*, сопротивление кавитации;
- пониженные усадка и ползучесть.

Сталефибробетонные конструкции без стержневой рабочей арматуры рекомендуется применять в случае их преимущественной работы:

- на ударные нагрузки, смятие, истирание, воздействие кавитации;
- на сжатие при расположении продольной сжимающей силы в пределах поперечного сечения элемента;
- на сжатие при расположении продольной сжимающей силы за пределами поперечного сечения элемента и на изгиб – в случаях, когда их разрушение не представляет непосредственной опасности для жизни людей, исправности и сохранности оборудования.

## Общие требования

Сталефибробетон рекомендуется применять для изготовления конструкций, в которых эффективно могут быть использованы следующие его характеристики:

- повышенные трещиностойкость, ударная прочность, вязкость разрушения, износостойкость, морозостойкость, сопротивление кавитации;
- пониженные усадка и ползучесть.

Сталефибробетонные конструкции без стержневой рабочей арматуры рекомендуется применять в случае их преимущественной работы:

- на ударные нагрузки, смятие, истирание, воздействие кавитации;
- на сжатие при расположении продольной сжимающей силы в пределах поперечного сечения элемента;
- на сжатие при расположении продольной сжимающей силы за пределами поперечного сечения элемента и на изгиб – в случаях, когда их разрушение не представляет непосредственной опасности для жизни людей, исправности и сохранности оборудования.

В остальных случаях рекомендуется применять сталефибробетонные конструкции с рабочей арматурой.

## Общие требования

Расчеты сталефибробетонных конструкций следует проводить по предельным состояниям первой и второй групп.

## Общие требования

Расчеты сталефибробетонных конструкций следует проводить по предельным состояниям первой и второй групп.

Расчеты по предельным состояниям первой группы включают:



## Общие требования

Расчеты сталефибробетонных конструкций следует проводить по предельным состояниям первой и второй групп.

Расчеты по предельным состояниям первой группы включают:

- расчет по прочности;

## Общие требования

Расчеты сталефибробетонных конструкций следует проводить по предельным состояниям первой и второй групп.

Расчеты по предельным состояниям первой группы включают:

- расчет по прочности;
- расчет по устойчивости формы (для тонкостенных конструкций);

## Общие требования

Расчеты сталефибробетонных конструкций следует проводить по предельным состояниям первой и второй групп.

Расчеты по предельным состояниям первой группы включают:

- расчет по прочности;
- расчет по устойчивости формы (для тонкостенных конструкций);
- расчет по устойчивости положения (опрокидывание, скольжение, всплывание).

## Общие требования

Расчеты сталефибробетонных конструкций следует проводить по предельным состояниям первой и второй групп.

Расчеты по предельным состояниям первой группы включают:

- расчет по прочности;
- расчет по устойчивости формы (для тонкостенных конструкций);
- расчет по устойчивости положения (опрокидывание, скольжение, всплывание).

Расчеты по предельным состояниям второй группы включают:

## Общие требования

Расчеты сталефибробетонных конструкций следует проводить по предельным состояниям первой и второй групп.

Расчеты по предельным состояниям первой группы включают:

- расчет по прочности;
- расчет по устойчивости формы (для тонкостенных конструкций);
- расчет по устойчивости положения (опрокидывание, скольжение, всплывание).

Расчеты по предельным состояниям второй группы включают:

- расчет по образованию трещин;

## Общие требования

Расчеты сталефибробетонных конструкций следует проводить по предельным состояниям первой и второй групп.

Расчеты по предельным состояниям первой группы включают:

- расчет по прочности;
- расчет по устойчивости формы (для тонкостенных конструкций);
- расчет по устойчивости положения (опрокидывание, скольжение, всплывание).

Расчеты по предельным состояниям второй группы включают:

- расчет по образованию трещин;
- расчет по раскрытию трещин;

## Общие требования

Расчеты сталефибробетонных конструкций следует проводить по предельным состояниям первой и второй групп.

Расчеты по предельным состояниям первой группы включают:

- расчет по прочности;
- расчет по устойчивости формы (для тонкостенных конструкций);
- расчет по устойчивости положения (опрокидывание, скольжение, всплывание).

Расчеты по предельным состояниям второй группы включают:

- расчет по образованию трещин;
- расчет по раскрытию трещин;
- расчет по деформациям.

## Материалы

Нормативные и расчетные значения характеристик стальной арматуры, а при расчете конструкций по нелинейной деформационной модели – диаграммы ее деформирования, следует принимать по СП 63.13330.

Нормативные и расчетные характеристики сталефибробетона

Основные нормируемые и контролируемые показатели качества сталефибробетона:

- **класс по прочности на сжатие  $B_f$** ;
- класс по прочности на осевое растяжение  $B_{ft}$  ;
- класс по остаточной прочности на растяжение  $B_{ft3}$ ;
- марка по морозостойкости  $F$ ;
- марка по водонепроницаемости  $W$ .



## Материалы

Марка сталефибробетона по морозостойкости  $F$  соответствует минимальному числу циклов переменного замораживания и оттаивания, выдерживаемых образцом при стандартном испытании

Марка сталефибробетона по водонепроницаемости  $W$  соответствует максимальному значению давления воды,  $\text{МПа} \times 10^{-1}$ , выдерживаемому сталефибробетонным образцом при испытании.

## Материалы

**Класс сталефибробетона по прочности на сжатие  $B_f$**  соответствует значению кубиковой прочности сталефибробетона на сжатие, МПа, с обеспеченностью 0,95 (нормативная кубиковая прочность).

## Материалы

**Класс сталефибробетона по прочности на сжатие  $B_f$**  соответствует значению кубиковой прочности сталефибробетона на сжатие, МПа, с обеспеченностью 0,95 (нормативная кубиковая прочность).

**Класс сталефибробетона по прочности на осевое растяжение  $B_{ft}$**  соответствует значению **прочности сталефибробетона на осевое растяжение**, МПа, с обеспеченностью 0,95 (нормативная прочность сталефибробетона).

**Класс сталефибробетона по остаточной прочности на растяжение  $B_{ft3}$**  соответствует значению **остаточной прочности сталефибробетона на растяжение**, МПа, с обеспеченностью 0,95 (нормативная прочность сталефибробетона).

Классы сталефибробетона по прочности на сжатие и по прочности на осевое растяжение назначают по результатам испытаний контрольных образцов в соответствии с ГОСТ 10180. Допускается класс сталефибробетона по прочности на осевое растяжение назначать по результатам испытаний контрольных образцов-балок на изгиб (приложение Б).

Класс сталефибробетона по остаточной прочности на осевое растяжение  $V_{ft3}$  назначают с указанием подкласса «a», «b», «c», «d» или «e» по результатам испытаний контрольных образцов-балок на изгиб (приложение Б).

При назначении класса сталефибробетона по остаточной прочности на растяжение  $V_{ft3}$  нормативные значения остаточного сопротивления растяжению  $R_{fbt3,n}$  принимают равными числовой характеристике класса сталефибробетона по остаточной прочности на растяжение.

Числовая характеристика класса сталефибробетона по остаточной прочности на растяжение характеризует гарантированную прочность сталефибробетона на растяжение  $R_{fbt3,n}$ , с обеспеченностью 0,95, соответствующую значению перемещений внешних граней надреза контрольных образцов, равному 2,5 мм, при испытаниях на изгиб (приложение Б).

Классы сталефибробетона по прочности на сжатие  $B_f$ , по прочности на осевое растяжение  $B_{ft}$  и по остаточной прочности на растяжение  $B_{ft3}$  (с указанием подкласса) назначают для всех видов сталефибробетонов и конструкций.

**Для сталефибробетонных конструкций следует предусматривать классы сталефибробетона по прочности на сжатие, классы сталефибробетона по прочности на осевое растяжение и марки сталефибробетона, принятые в СП 63.13330 для обычного тяжелого и мелкозернистого бетонов, и классы по остаточной прочности на растяжение, приведенные в таблице 1.**

Т а б л и ц а 1

Вид бетона	Классы сталефибробетона по остаточной прочности на растяжение
Тяжелый и мелкозернистый бетоны	$B_{ft3} 1i$ ; $B_{ft3} 1,5i$ ; $B_{ft3} 2i$ ; $B_{ft3} 2,5i$ ; $B_{ft3} 3i$ ; $B_{ft3} 3,5i$ ; $B_{ft3} 4i$ ; $B_{ft3} 4,5i$ ; $B_{ft3} 5i$ ; $B_{ft3} 5,5i$ ; $B_{ft3} 6i$ ( $i = \langle a \rangle, \langle b \rangle, \langle c \rangle, \langle d \rangle$ или $\langle e \rangle$ – индекс подкласса)

## Материалы

Основными прочностными характеристиками сталефибробетона являются нормативные значения:

- сопротивления сталефибробетона осевому сжатию  $R_{fb,n}$ ;
- сопротивления сталефибробетона осевому растяжению  $R_{fbt,n}$ ;
- остаточного сопротивления сталефибробетона осевому растяжению  $R_{fbt2,n}$ ;
- остаточного сопротивления сталефибробетона осевому растяжению  $R_{fbt3,n}$ .



Нормативные и расчетные значения сопротивления сталефибробетона **осевому сжатию (призменная прочность)** принимают равными их значениям, установленным в СП 63.13330 для аналогичного класса обычного бетона.

Нормативные значения сопротивления сталефибробетона осевому растяжению  $R_{fbt,n}$  и остаточного сопротивления сталефибробетона осевому растяжению  $R_{fbt2,n}$  и  $R_{fbt3,n}$  определяют по результатам испытаний контрольных образцов на осевое растяжение.

Допускается определять нормативные значения сопротивления сталефибробетона осевому растяжению  $R_{fbt,n}$  и остаточного сопротивления осевому растяжению  $R_{fbt2,n}$  и  $R_{fbt3,n}$  по результатам испытаний контрольных образцов-балок на изгиб (приложение Б).

Расчетные значения сопротивления осевому растяжению  $R_{fbt}$ , остаточного сопротивления осевому растяжению  $R_{fbt2}$  и остаточного сопротивления осевому растяжению  $R_{fbt3}$  определяют по формулам:

1,5 – для расчета по предельным состояниям первой группы при назначении класса сталефибробетона по прочности на сжатие;

1,3 – для расчета по предельным состояниям первой группы при назначении класса сталефибробетона по прочности на растяжение.

Расчетные значения сопротивления сталефибробетона  $R_{fb}$  и  $R_{fb,ser}$  в зависимости от класса сталефибробетона по прочности на сжатие для предельных состояний первой и второй групп принимают как для обычного бетона по СП 63.13330.

Расчетные значения остаточного сопротивления сталефибробетона растяжению  $R_{fbt2}$  и  $R_{fbt2,ser}$  и остаточного сопротивления растяжению  $R^{fbt3}$  и  $R_{fbt3,ser}$  в зависимости от подклассов «a», «b», «c», «d» и «e» для предельных состояний первой и второй групп приведены в таблице 2.

Допускается принимать расчетные значения сопротивления сталефибробетона осевому сжатию  $R_{fb}$  и осевому растяжению  $R_{fbt3}$  с учетом влияния фибрового армирования в соответствии с приложением В.

## Приложение В

**Определение сопротивлений сталефибробетона растяжению и сжатию с учетом влияния фибрового армирования**

# СП 360.1325800.2017 Конструкции сталефибробетонные

## Т а б л и ц а 2

Характеристика		Нормативные $R_{fbt2,n}$ и $R_{fbt3,n}$ , расчетные для предельных состояний второй группы $R_{fbt2,ser}$ и $R_{fbt3,ser}$ и расчетные для предельных состояний первой группы $R_{fbt2}$ и $R_{fbt3}$ значения сопротивления сталефибробетона растяжению при классе сталефибробетона по остаточной прочности на растяжение, МПа										
		$B_{f3} 1i$	$B_{f3} 1,5i$	$B_{f3} 2i$	$B_{f3} 2,5i$	$B_{f3} 3i$	$B_{f3} 3,5i$	$B_{f3} 4i$	$B_{f3} 4,5i$	$B_{f3} 5i$	$B_{f3} 5,5i$	$B_{f3} 6i$
$R_{fbt3,n}$ и $R_{fbt3,ser}$		<b>1,00</b>	<b>1,50</b>	<b>2,00</b>	<b>2,50</b>	<b>3,00</b>	<b>3,50</b>	<b>4,00</b>	<b>4,50</b>	<b>5,00</b>	<b>5,50</b>	<b>6,00</b>
$R_{fbt2,n}$	$i = a$	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00
	$i = b$	1,43	2,14	2,86	3,57	4,29	5,00	5,71	6,43	7,14	7,86	8,57
И	$i = c$	1,11	1,67	2,22	2,78	3,33	3,89	4,44	5,00	5,56	6,11	6,67
	$R_{fbt2,ser}$	$i = d$	0,91	1,36	1,82	2,27	2,73	3,18	3,64	4,09	4,55	5,00
	$i = e$	0,77	1,15	1,54	1,92	2,31	2,69	3,08	3,46	3,85	4,23	4,62
$R_{fbt3}$		<b>0,77</b>	<b>1,15</b>	<b>1,54</b>	<b>1,92</b>	<b>2,31</b>	<b>2,69</b>	<b>3,08</b>	<b>3,46</b>	<b>3,85</b>	<b>4,23</b>	<b>4,62</b>
$R_{fbt2}$	$i = a$	1,54	2,30	3,08	3,84	4,62	5,38	6,16	6,92	7,70	8,46	9,24
	$i = b$	1,10	1,64	2,20	2,74	3,30	3,84	4,40	4,94	5,50	6,04	6,60
	$i = c$	0,86	1,28	1,71	2,13	2,57	2,99	3,42	3,84	4,28	4,70	5,13
	$i = d$	0,70	1,05	1,40	1,75	2,10	2,45	2,80	3,15	3,50	3,85	4,20
	$i = e$	0,59	0,88	1,18	1,48	1,78	2,07	2,37	2,66	2,96	3,25	3,55

## Приложение В

### Определение сопротивлений сталефибробетона растяжению и сжатию с учетом влияния фибрового армирования

При определении значения расчетного остаточного сопротивления сталефибробетона растяжению  $R_{fbt3}$  различаются два случая исчерпания прочности на растяжение сталефибробетона.

**Первый случай:** сопротивление растяжению сталефибробетона исчерпывается из-за обрыва некоторого числа фибр и выдергивания остальных, что определяется условием

**Второй случай:** сопротивление растяжению сталефибробетона исчерпывается из-за выдергивания из бетона условно всех фибр, что определяется условием

$l_{f,an}$  – длина заделки фибры в бетоне, обеспечивающая ее разрыв при выдергивании, определяемая по формуле

**Первый случай:** сопротивление растяжению сталефибробетона исчерпывается из-за обрыва некоторого числа фибр и выдергивания остальных:

$k_{or}$  – коэффициент ориентации, учитывающий ориентацию фибр в объеме элемента в зависимости от соотношения размеров сечения элемента и длины фибры, принимаемый по таблице В.1 (варьируется от 0,98 при  $b/l_f=0,5$  и  $h/l_f=0,2$  до 0,5 при  $b/l_f>20$  и  $h/l_f>20$ );

**Второй случай:** сопротивление растяжению сталефибробетона исчерпывается из-за выдергивания из бетона условно всех фибр



Значение  $R_{fb}$  определяется по формуле

Коэффициенты условия работы  $\gamma_{bi}$ , учитывающие особенности работы сталефибробетона в конструкции (характер нагрузки, условия окружающей среды и т. д.):

$\gamma_{b1}$  – коэффициент, вводимый к расчетным значениям сопротивлений  $R_{fb}$ ,  $R_{fbt}$  и  $R_{fbt3}$ , и учитывающий влияние длительности действия статической нагрузки:

- $\gamma_{b1} = 1,0$  при непродолжительном (кратковременном) действии нагрузки;
- $\gamma_{b1} = 0,9$  при продолжительном (длительном) действии нагрузки;

$\gamma_{b2}$  – коэффициент, вводимый для сталефибробетонных конструкций без стержневой рабочей арматуры к расчетным значениям сопротивления  $R_{fb}$  и учитывающий характер разрушения таких конструкций;  $\gamma_{b2} = 0,9$ ;

$\gamma_{b3}$  – коэффициент, вводимый для сталефибробетонных конструкций, бетонируемых в вертикальном положении при высоте слоя бетонирования свыше 1,5 м, к расчетному значению сопротивления сталефибробетона  $R_{fb}$ ;  $\gamma_{b3} = 0,85$ ;

Коэффициенты условия работы  $\gamma_{bi}$ , учитывающие особенности работы сталефибробетона в конструкции (характер нагрузки, условия окружающей среды и т. д.):

$\gamma_{b5}$  – коэффициент условий работы сталефибробетонных конструкций, учитывающий влияние попеременного замораживания и оттаивания, а также отрицательных температур:

- $\gamma_{b5} = 1,0$  для надземных конструкций, подвергаемых атмосферным воздействиям окружающей среды при расчетной температуре наружного воздуха в холодный период минус 40 °С и выше;
- в других случаях  $\gamma_{b5} \leq 1,0$  и его значение принимают в зависимости от назначения конструкции и условий окружающей среды по специальным указаниям.

Значение начального модуля упругости сталефибробетона  $E_{fb}$  определяется по формуле:

где  $E_b$  – начальный модуль упругости бетона-матрицы;

$E_f$  – начальный модуль упругости стальной фибры;

$\mu_{fv}$  - коэффициент фибрового армирования по объему.

Значение начального модуля сдвига сталефибробетона  $G$  принимают равным  $0,4 E_{fb}$ .

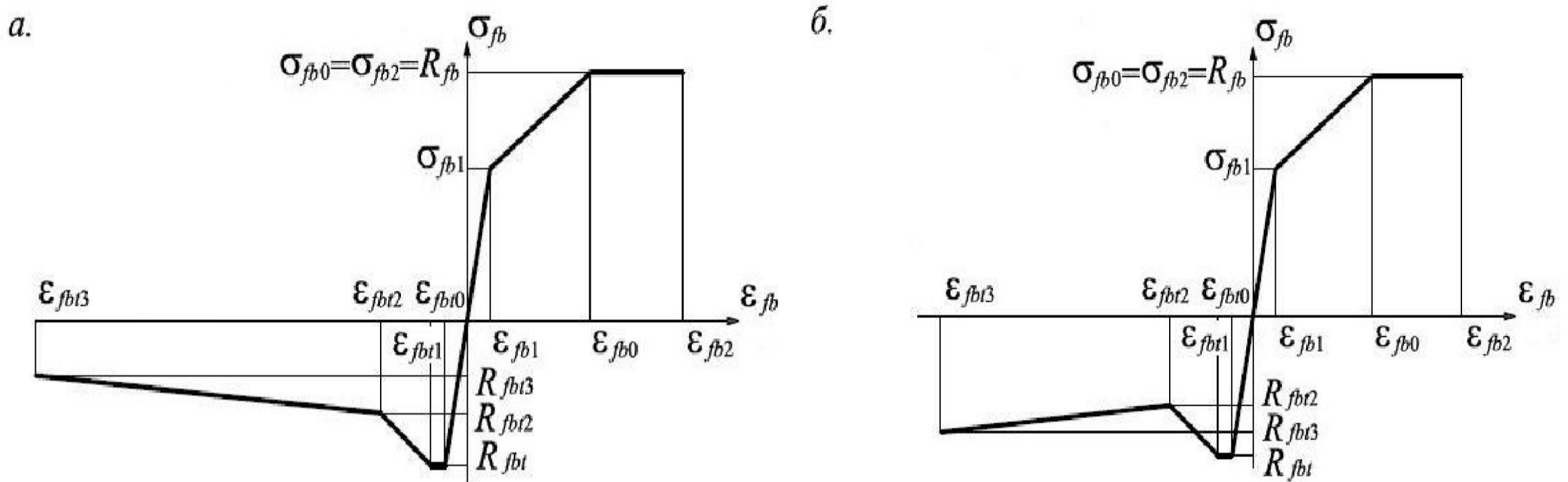
Значение коэффициента (характеристики) ползучести  $\varphi_{b,cr}$  принимают как для бетона-матрицы.

## Диаграммы деформирования сталефибробетона

В качестве рабочих диаграмм деформирования сталефибробетона при осевом сжатии, определяющих связь между напряжениями и относительными деформациями, используют криволинейные, в том числе с ниспадающей ветвью и упрощенную трехлинейную диаграммы. Параметрические точки рабочих диаграмм сжатого сталефибробетона допускается принимать как для обычного бетона по СП 63.13330, а сжимающие напряжения сталефибробетона  $\sigma_{fb}$  в зависимости от относительных деформаций укорочения сталефибробетона  $\varepsilon_{fb}$  определяют по формулам, указанным в СП 63.13330 для обычного бетона.

Диаграммы деформирования сталефибробетона

В качестве рабочих диаграмм деформирования сталефибробетона при осевом растяжении используют упрощенную **трехлинейную** диаграмму



Диаграммы деформирования сталефибробетона при сжатии и растяжении:

а – при  $R_{fbt3} / R_{fbt2} < 1$  б – при  $R_{fbt3} / R_{fbt2} > 1$

## Диаграммы деформирования сталефибробетона

Растягивающие напряжения сталефибробетона  $\sigma_{fbt}$  в зависимости от относительных деформаций укорочения сталефибробетона  $\varepsilon_{fbt}$  определяют по формулам:

Диаграммы деформирования сталефибробетона

где  $\varepsilon_{fbt0}$ ,  $\varepsilon_{fbt1}$ ,  $\varepsilon_{fbt2}$ ,  $\varepsilon_{fbt3}$  – относительные деформации, определяют по формулам:

$R_{fbt2}$  и  $R_{fbt3}$  – характеристики остаточного сопротивления сталефибробетона растяжению, принимаемые по таблице 2.



# Расчет элементов сталефибробетонных конструкций по предельным состояниям первой группы

## Расчет по прочности элементов конструкций на действие изгибающих

Расчет по прочности нормальных сечений элементов следует производить на основе нелинейной деформационной модели.

Расчет по прочности нормальных сечений элементов прямоугольного, таврового и двутаврового сечений без рабочей арматуры или с арматурой, расположенной у верхней и нижней граней сечения, **допускается** производить по предельным усилиям.

# Расчет элементов сталефибробетонных конструкций по предельным состояниям первой группы

## *Расчет по прочности нормальных сечений по предельным усилиям*

ДОПУЩЕНИЯ при расчете по нормальным сечениям сталефибробетонных элементов без рабочей арматуры:

- эпюру напряжений в сжатой зоне фибробетона принимают треугольной формы, как для упругого тела;
- эпюру напряжений в растянутой зоне фибробетона трапециевидной формы с напряжениями в растянутой грани сечения, равными  $R_{fbt}$  ;
- относительную деформацию крайнего растянутого волокна бетона принимают равной  $\varepsilon_{fbt1}$ .

# Расчет элементов сталефибробетонных конструкций по предельным состояниям первой группы

## Расчет по прочности элементов конструкций на действие изгибающих моментов

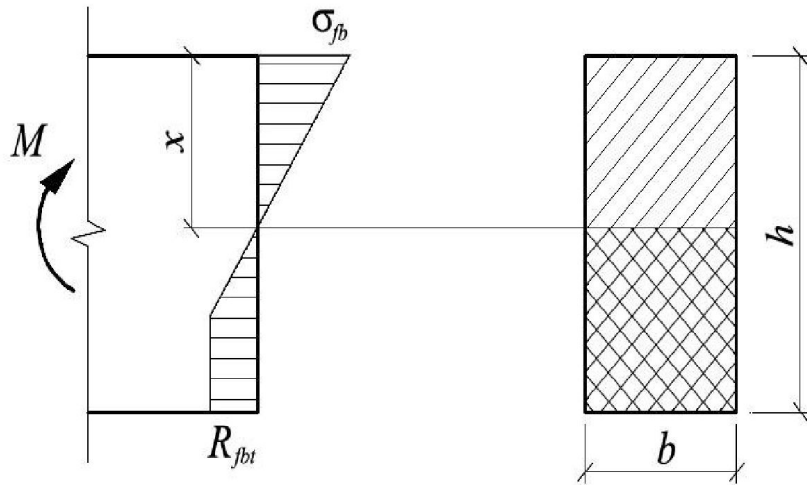


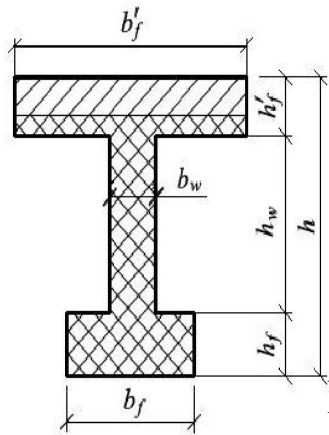
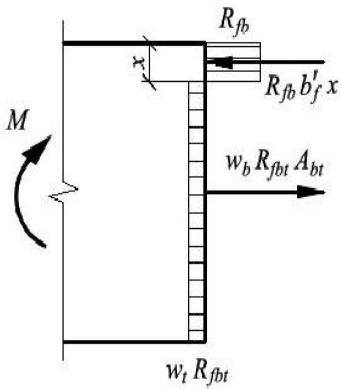
Схема усилий и эпюра напряжений в сечении, нормальном к продольной оси изгибаемого сталефибробетонного элемента прямоугольного сечения без арматуры при его расчете по прочности

$$M_{ult} = R_{fbt} \cdot W_{pl} ,$$

$$W_{pl} = \frac{b \cdot h^2}{3,6}$$

# СП 360.1325800.2017 Конструкции сталефибробетонные

a.



Положение границы сжатой зоны в сечении изгибаемого сталефибробетонного элемента без арматуры:  $a$  – в полке;  
а) если соблюдается условие:

$$R_{fbt3} \cdot (b_f \cdot h_f + b_w \cdot h_w) \leq R_{fb} \cdot b'_f \cdot h'_f$$

нижняя граница расчетной высоты сжатой зоны бетона находится в полке

Несущая способность относительно центра тяжести сжатой зоны сталефибробетона:

$$M_{ult} = 0,5 \cdot R_{fbt3} \cdot \left[ b'_f \cdot (h'_f - x) \cdot (h'_f + x) + b_f \cdot h_f \cdot (h_f - x + 2 \cdot (h_w + h'_f)) + b_w \cdot h_w \cdot (h_w - x + 2 \cdot h'_f) \right]$$

$$M_{ult} = 0,5 \cdot R_{fbt3} \cdot \left[ b'_f \cdot (h'_f - x) \cdot h'_f + b_w \cdot h_w \cdot (2 \cdot h'_f + h_w - x) + b_f \cdot h_f \cdot (h_f - x + 2 \cdot (h_w + h'_f)) \right]$$

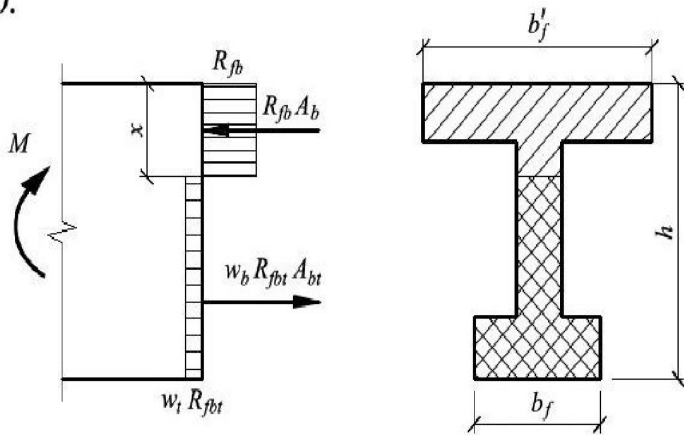
Уравнение равновесия продольных усилий:

$$R_{fb} \cdot b'_f \cdot x = R_{fbt3} \cdot (b'_f \cdot (h'_f - x) + b_w \cdot h_w + b_f \cdot h_f)$$

Расчетная высота сжатой зоны:

$$x = \frac{R_{fbt3} \cdot (b'_f \cdot h'_f + b_w \cdot h_w + b_f \cdot h_f)}{(R_{fb} + R_{fbt3}) \cdot b'_f}$$

б.



Положение границы сжатой зоны в сечении изгибаемого сталефибробетонного элемента без арматуры:  $\bar{\sigma}$  – в ребре

а) если :  $R_{fbt3} \cdot (b_f \cdot h_f + b_w \cdot h_w) > R_{fb} \cdot b'_f \cdot h'_f$

нижняя граница расчетной высоты сжатой зоны бетона находится в ребре

Несущая способность относительно центра тяжести сжатой зоны сталефибробетона:

$$M_{ult} = R_{fb} b_w (x - h'_f)(x - 0,5h'_f) + R_{fbt3} \left[ b_w (h_w + h'_f - x) + b_w h_f (h - 0,5(h'_f + h_f)) \right]$$

$$M_{ult} = 0,5R_{fb} b_w (x - h'_f)x + R_{fbt3} \left[ b_w (h_w + h'_f - x)(h'_f + 0,5h_w - 0,5x) + b_f h_f (h - 0,5(h'_f + h_f)) \right]$$

Уравнение равновесия продольных усилий:

$$R_{fb} \cdot b'_f \cdot h'_f + R_{fb} \cdot b_w \cdot (x - h'_f) = R_{fbt3} \cdot (b_w \cdot (h_w - x + h'_f) + b_f \cdot h_f)$$

Расчетная высота сжатой зоны:

$$x = \frac{R_{fbt3} \cdot (b_w \cdot h'_f + b_w \cdot h_w + b_w \cdot h_f) + R_{fb} \cdot h'_f \cdot (b'_f - b_w)}{(R_{fb} + R_{fbt3}) \cdot b_w}$$

# Расчет элементов сталефибробетонных конструкций по предельным состояниям первой группы 6.12.2019

## *Расчет по прочности нормальных сечений по предельным усилиям*

ДОПУЩЕНИЯ при расчете по нормальным сечениям сталефибробетонных элементов армированных продольной арматурой:

- Сопротивление сталефибробетона растяжению представляется напряжениями, равными  $R_{fbt3}$  и равномерно распределенными по растянутой зоне сталефибробетона;
- сопротивление сталефибробетона сжатию представляется напряжениями, равными  $R_{fb}$  и равномерно распределенными по сжатой зоне сталефибробетона;
- деформации (напряжения) в арматуре определяют в зависимости от высоты сжатой зоны сталефибробетона;
- растягивающие напряжения в стержневой арматуре принимают не более расчетного сопротивления растяжению  $R_s$ ;
- сжимающие напряжения в стержневой арматуре принимают не более расчетного сопротивления сжатию  $R_{sc}$ .

# Расчет элементов сталефибробетонных конструкций по предельным состояниям первой группы

*Расчет по прочности нормальных сечений по предельным усилиям*

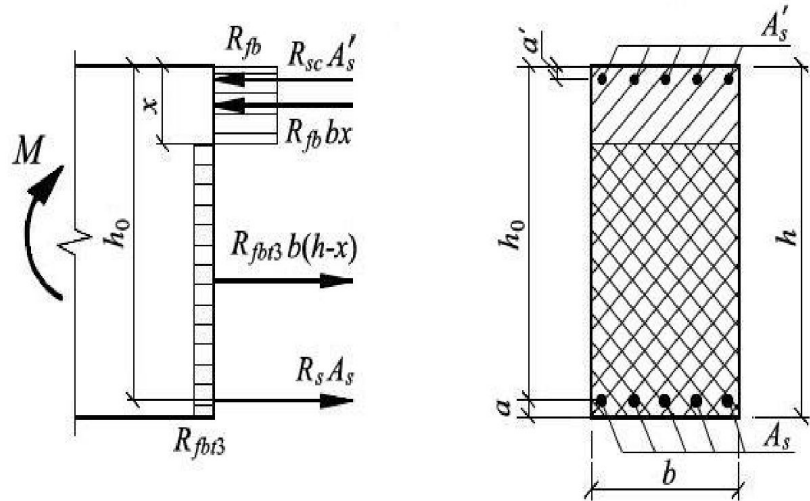


Схема усилий и эпюра напряжений в сечении, нормальном к продольной оси изгибаемого сталефибробетонного элемента прямоугольного сечения с арматурой, при его расчете по прочности

Несущая способность:

$$M_{ult} = R_{fb} \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - 0,5x) - R_{fbt3} \cdot b \cdot (h - x) \cdot \left( \frac{h - x}{2} - a \right) + R_{sc} \cdot A'_s (h_0 - a')$$

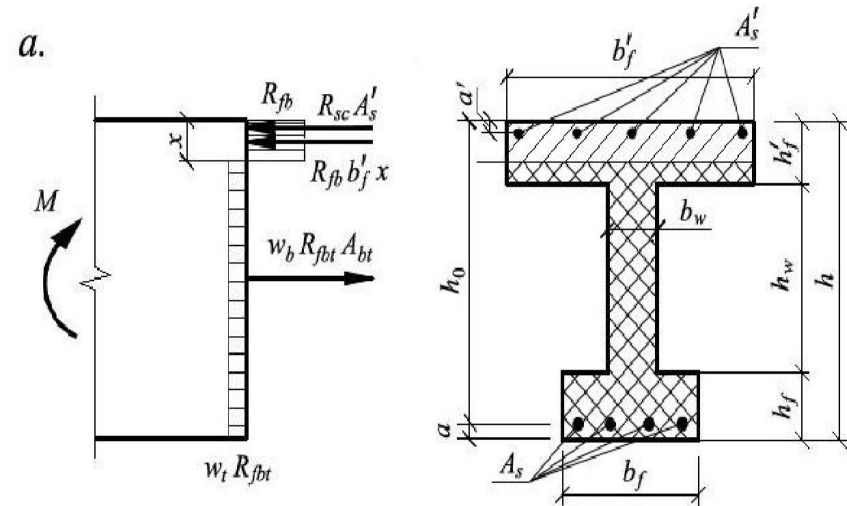
Уравнение равновесия продольных усилий:

$$R_{fb} \cdot b \cdot x = R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A'_s + R_{fbt3} \cdot b \cdot (h - x)$$

Расчетная высота сжатой зоны:

$$x = \frac{R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A'_s + R_{fbt3} \cdot b \cdot h}{(R_{fb} + R_{fbt3}) \cdot b}$$





Положение границы сжатой зоны в сечении изгибаемого сталефибробетонного элемента с арматурой: *a* – в полке;

а) граница расчетной высоты сжатой зоны находится в полке, если **соблюдается** условие:

$$R_s \cdot A_s + R_{fbt3} \cdot (b_f \cdot h_f + b_w \cdot h_w) \geq R_{sc} \cdot A'_s + R_{fb} \cdot b'_f \cdot h'_f$$

Уравнение равновесия продольных усилий:

$$R_{fb} \cdot b'_f \cdot x + R_{sc} \cdot A'_s = R_s \cdot A_s + R_{fbt3} \cdot (b'_f \cdot (h'_f - x) + b_w \cdot h_w + b_f \cdot h_f)$$

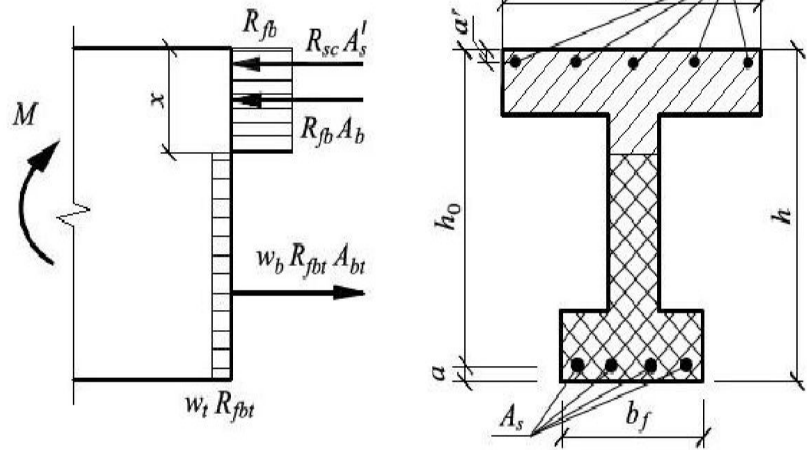
Расчетная высота сжатой зоны:

$$x = \frac{R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A'_s + R_{fbt3} \cdot (b'_f \cdot h'_f + b_w \cdot h_w + b_f \cdot h_f)}{(R_{fb} + R_{fbt3}) \cdot b'_f}$$

Несущая способность:

$$M_{ult} = R_{fb} \cdot b'_f \cdot x \cdot (h_0 - 0,5x) + R_{sc} \cdot A'_s \cdot (h_0 - a') - R_{fbt3} \cdot \left[ b_f \cdot h_f \cdot (0,5h_f - a) + b_w \cdot h_w \cdot (0,5h_w + h_f - a) + b'_f \cdot (h'_f - x) \cdot (h_0 - 0,5 \cdot (h'_f + x)) \right]$$

б.



Положение границы сжатой зоны в сечении изгибаемого сталефибробетонного элемента с арматурой: б – в ребре

а) граница расчетной высоты сжатой зоны находится в ребре, если:

$$R_s \cdot A_s + R_{fbt3} \cdot (b_f \cdot h_f + b_w \cdot h_w) < R_{sc} \cdot A'_s + R_{fb} \cdot b'_f \cdot h'_f$$

Уравнение равновесия продольных усилий:

$$R_{fb} \cdot [b_w \cdot x + (b'_f - b_w) \cdot h'_f] = R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A'_s + R_{fbt3} \cdot [b_w \cdot (h - h_f - x) + b_f \cdot h_f]$$

Расчетная высота сжатой зоны сталефибробетона:

$$x = \frac{R_s \cdot A_s + R_{fbt3} \cdot (b_w \cdot h'_f + b_w \cdot h_w + b_f \cdot h_f) - R_{fb} \cdot h'_f \cdot (b'_f - b_w) - R_{sc} \cdot A'_s}{b_w \cdot (R_{fbt3} + R_{fb})}$$

Несущая способность:

$$M_{ult} = R_{fb} [b'_f h'_f (h_0 - 0,5 h'_f) + b_w (x - h'_f) (h_0 - 0,5 x - 0,5 h'_f)] - \\ - R_{fbt3} [b_f h_f (0,5 h_f - a) + b_w (h - h_f - x) (h_0 - 0,5 (h + x - h_f))] + R_{sc} A'_s (h_0 - a')$$



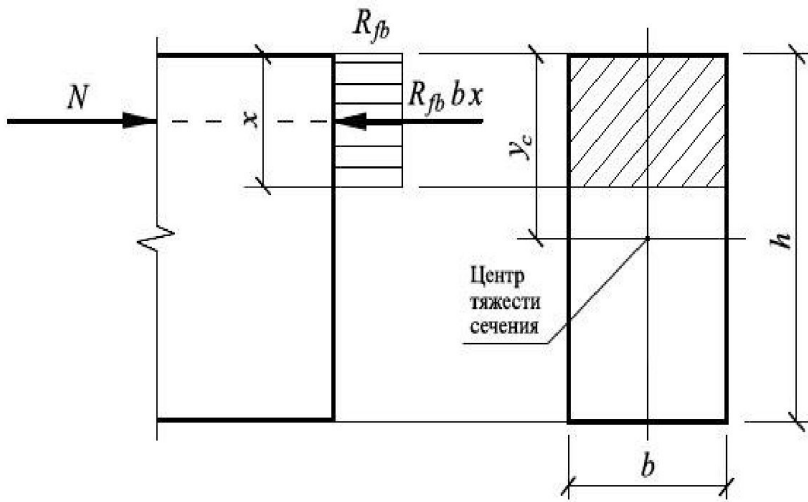


Схема усилий и эпюра напряжений в сечении, нормальном к продольной оси внецентренно сжатого сталефибробетонного элемента, рассчитываемого по прочности без учета сопротивления сталефибробетона растянутой зоны

$$N \leq R_{fb} \cdot A_b,$$

$N$  – действующая продольная сила;

$A_b$  – площадь сжатой зоны бетона, определяемая из условия, что ее центр тяжести совпадает с точкой приложения продольной силы  $N$  (с учетом прогиба).

Для элементов прямоугольного сечения

$$A_b = b \cdot h \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot e_0 \cdot \eta}{h}\right)$$

$e_0$  – случайный эксцентриситет (СП 63.13330.2018);

$\eta$  – коэффициент продольного изгиба (прогиба)

$$\eta = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr}}}$$

$N_{cr}$  – условная критическая сила  $N_{cr} = \frac{\pi^2 D}{l_0^2}$

$$D = k_b \cdot E_{fb} \cdot I$$

$I$  – момент инерции поперечного сечения элемента относительно оси, проходящей через его центр тяжести;

$$k_b = \frac{0,15}{\varphi_l(0,3 + \delta_e)}, \quad \varphi_l = 1 + \frac{M_{l1}}{M_1}, \quad 0,15 \leq \delta_e = \frac{e_0}{h} \leq 1,5$$

$M_{l1}, M_1$  – моменты относительно наиболее растянутой или наименее сжатой грани сечения от действия постоянных и длительных нагрузок и полных нагрузок

Таблица

	6	10	15	20
	0,92	0,90	0,80	0,60

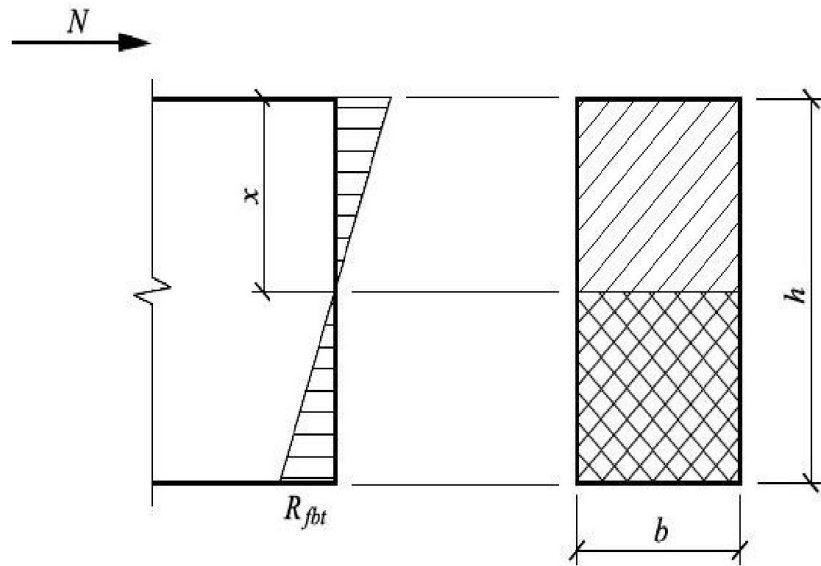


Схема усилий и эпюра напряжений в сечении, нормальном к продольной оси внецентренно сжатого сталефибробетонного элемента, рассчитываемого по прочности с учетом сопротивления сталефибробетона растянутой зоны

Условия прочности для внецентренно сжатых сталефибробетонных элементов без рабочей арматуры при расположении продольной сжимающей силы за пределами поперечного сечения элемента и внецентренно сжатых сталефибробетонных элементов без рабочей арматуры при расположении продольной сжимающей силы в пределах поперечного сечения элемента, в которых по условиям эксплуатации не допускается образование трещин (расчет с учетом сопротивления сталефибробетона растяжению):

$$N \leq \frac{R_{fbt} \cdot A}{\frac{A}{I} \cdot e_0 \cdot \eta \cdot y_t - 1}$$

Для элементов прямоугольного сечения:

$$N \leq \frac{R_{fbt} \cdot b \cdot h}{\frac{6 \cdot e_0 \cdot \eta}{h} - 1}$$

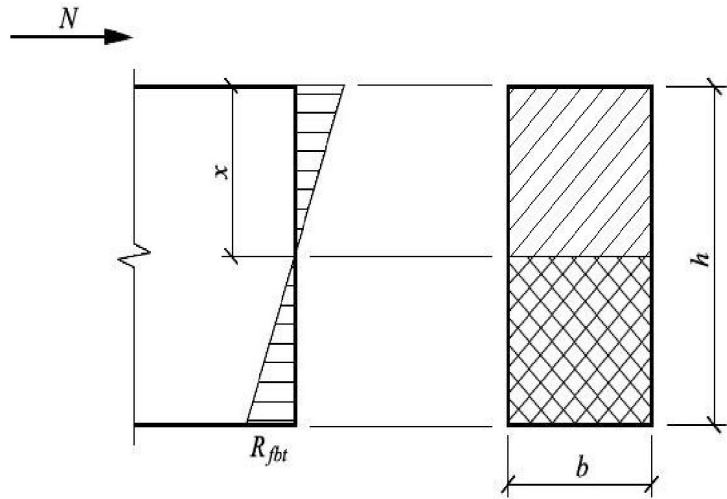


Схема усилий и эпюра напряжений в сечении, нормальном к продольной оси внецентренно сжатого сталефибробетонного элемента, рассчитываемого по прочности с учетом сопротивления сталефибробетона растянутой зоны

$A, I$  – площадь и момент инерции сталефибробетонного элемента относительно его центра тяжести;  
 $y_t$  – расстояние от центра тяжести сечения сталефибробетонного элемента до наиболее растянутого волокна;

$\eta$  – коэффициент продольного изгиба (прогиба)

$$\eta = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr}}}$$

$N_{cr}$  – условная критическая сила  $N_{cr} = \frac{\pi^2 D}{l_0^2}$

Значения жесткости элемента в предельной по прочности стадии определяют по формуле:  $D = k_b \cdot E_{fb} \cdot I_f + 0,7 \cdot E_s \cdot I_s$   
 $I, I_s$  – моменты инерции площадей сечения сталефибробетона и всей продольной арматуры, соответственно относительно оси, проходящей через центр тяжести поперечного сечения элемента

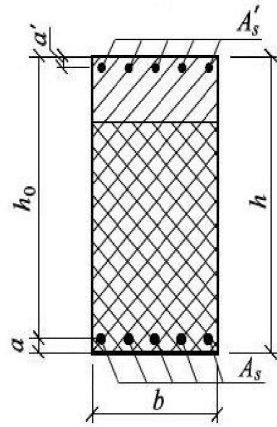
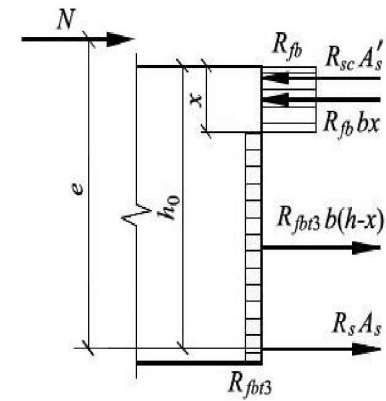


Схема усилий и эпюра напряжений в сечении, нормальном к продольной оси внецентренно сжатого сталефибробетонного элемента с рабочей арматурой, при расчете ее по прочности

Условие прочности:

$$N \cdot e \leq R_{fb} \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - 0,5x) - R_{fbt3} \cdot b \cdot (h - x) \cdot \left( \frac{h - x}{2} - a \right) + R_{sc} \cdot A'_s \cdot (h_0 - a')$$

$N$  – продольная сила от внешней нагрузки;

$e$  – расстояние от точки приложения продольной силы  $N$  до центра тяжести сечения растянутой арматуры

$$e = e_0 \cdot \eta + \frac{h_0 - a}{2}$$

при  $\xi = \frac{x}{h_0} \leq \xi_R$  по формуле:

$$x = \frac{N + R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A'_s + R_{fbt3} \cdot b \cdot h}{(R_{fb} + R_{fbt3}) \cdot b}$$

при  $\xi = \frac{x}{h_0} > \xi_R$  по формуле:

$$x = \frac{N + R_s \cdot A_s \cdot \frac{1 + \xi_R}{1 - \xi_R} - R_{sc} \cdot A'_s + R_{fbt3} \cdot b \cdot h}{(R_{fb} + R_{fbt3}) \cdot b + \frac{2 \cdot R_s \cdot A_s}{h_0 \cdot (1 - \xi_R)}}$$



# СП 360.1325800.2017 Конструкции сталефибробетонные

Таблица

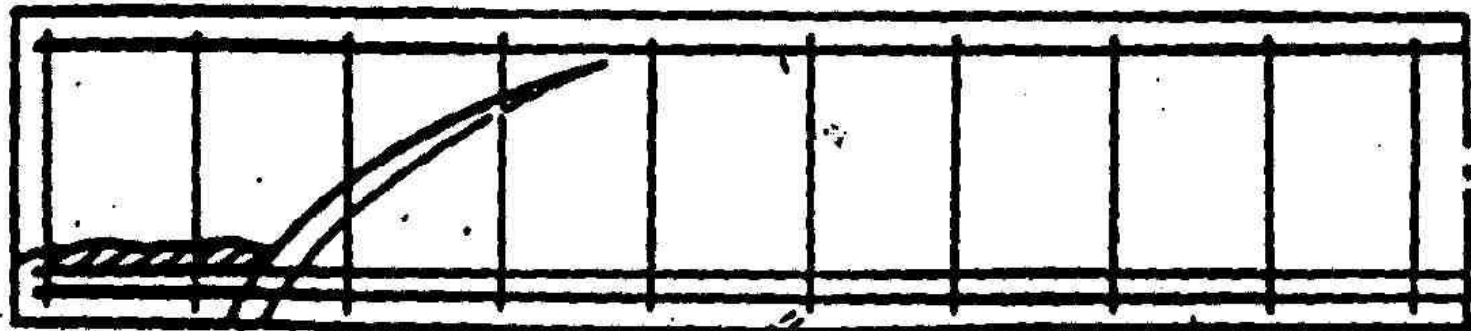
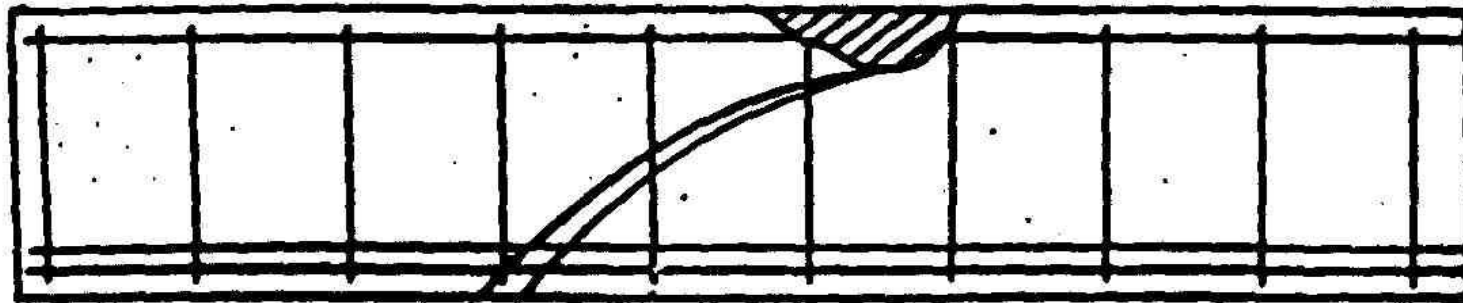
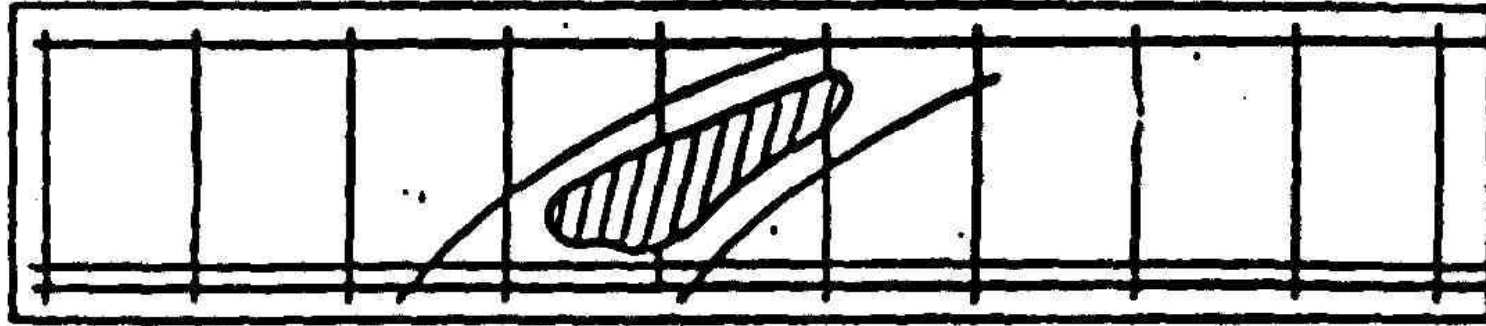
	6	10	15	20
	0,92	0,90	0,83	0,70
	0,91	0,89	0,80	0,65
	0,90	0,88	0,79	0,64

# Расчет по прочности железобетонных элементов по наклонным сечениям

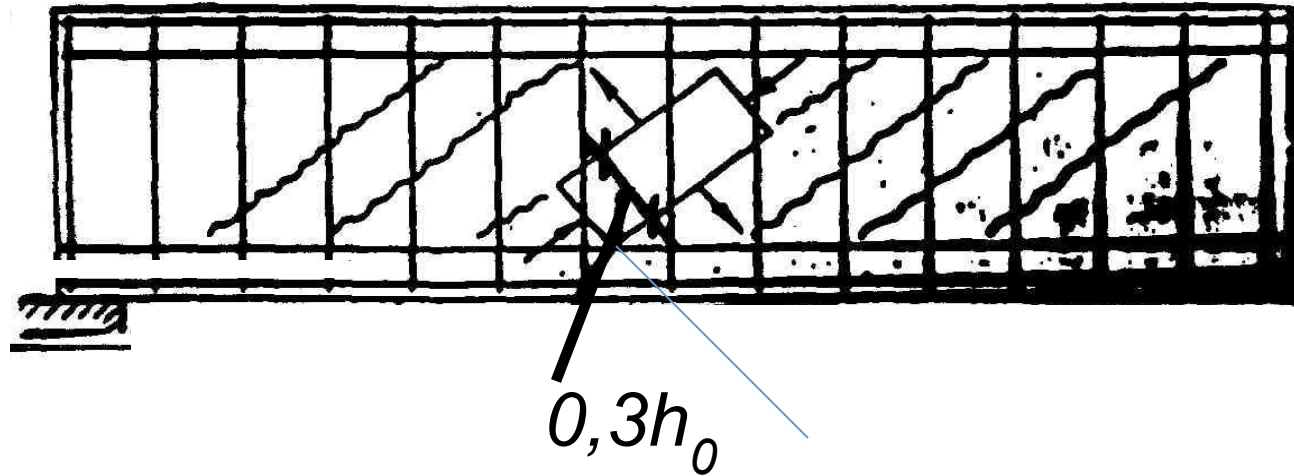
Расчет элементов при действии поперечных сил должен обеспечить прочность:

- по сжатой полосе между наклонными сечениями;
- на действие поперечной силы по наклонному сечению;
- на действие момента по наклонному сечению.

# Расчет по прочности железобетонных элементов по наклонным сечениям



# Расчет железобетонных элементов по полосе между наклонными сечениями



$$Q \leq \varphi_{b1} R_{fb} b h_0$$

где  $Q$  - поперечная сила в нормальном сечении элемента;  
 $\varphi_{b1}$  - коэффициент, принимаемый равным 0,3

$$Q \leq Q_b + Q_{sw}$$

# Расчет железобетонных элементов по наклонным сечениям на действие поперечных сил

$$Q \leq Q_b + Q_{sw}$$

$$Q_b = \frac{M_b}{C}; \quad M_b = \varphi_{b2} R_{fbt} b h_0^2; \quad \varphi_{b2} = 1,5;$$

$$0,5 R_{fbt} b h_0 \leq Q_b \leq 2,5 R_{fbt} b h_0$$

$$Q_{sw} = \varphi_{sw} q_{sw} C, \quad \text{где:} \quad \varphi_{sw} = 0,75; \quad q_{sw} = \frac{R_{sw} A_{sw}}{s_w}$$

*Расчет производят для ряда расположенных по длине наклонных сечений при опасной длине проекции наклонного сечения  $C$ .  $1,0h_0 \leq C \leq 2,0h_0$*

# Расчет железобетонных элементов по наклонным сечениям на действие поперечных сил

Хомуты учитывают в расчете, если соблюдается условие  $q_{sw} > 0,25R_{fbl}b$

Можно учитывать поперечную арматуру и при невыполнении это условия, если в формуле  $Q \leq Q_b + Q_{sw}$  принимать  $Q_b = 4 \cdot \varphi_{b2} \cdot h_0^2 \cdot q_{sw} / C$ .

Шаг поперечной арматуры, учитываемой в расчете,

$$\frac{s_w}{h_0} \text{ должен быть не больше значения } \frac{s_{w,\max}}{h_0} = \frac{R_{fbl}bh_0}{Q}$$

При отсутствии поперечной арматуры усилия  $Q_{sw}$  принимаются равными нулю.

# Расчет железобетонных элементов по наклонным сечениям на действие моментов

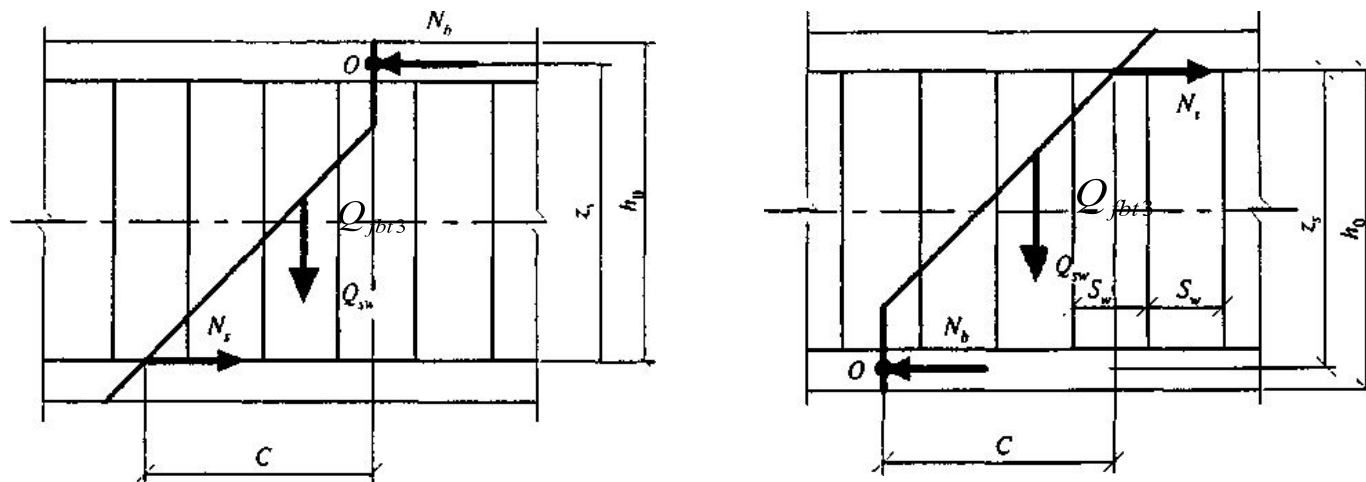


Схема усилий при расчете железобетонных элементов по наклонному сечению на действие моментов

$$M \leq M_s + M_{sw} + M_{fbt}$$

$$M_s = N_s \cdot z_s$$

$$M_{sw} = 0,5 \cdot Q_{sw} \cdot C \quad \text{при } c = 2,0 \cdot h_0 \quad M_{sw} = 0,5 \cdot q_{sw} \cdot h_0^2$$

$$M_{fbt} = 0,5 \cdot Q_{fbt3} \cdot C$$



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

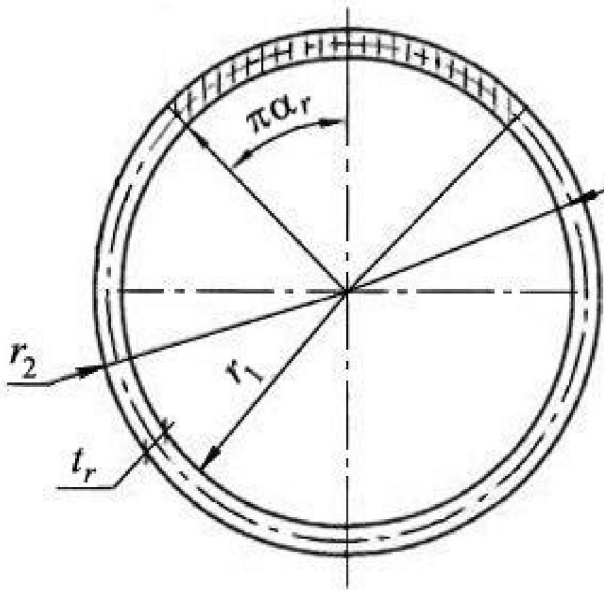


Схема кольцевого сечения сталефибробетонного элемента, принимаемая при его расчете по прочности на **изгиб**.

Условие прочности: 
$$M \leq A_r \cdot \left[ R_{fb} \frac{\sin \pi \alpha_r}{\pi} + 0,234 \cdot R_{fbt3} \right] \cdot r_m$$

где где  $A_r$  – общая площадь кольцевого сечения, определяемая по формуле:

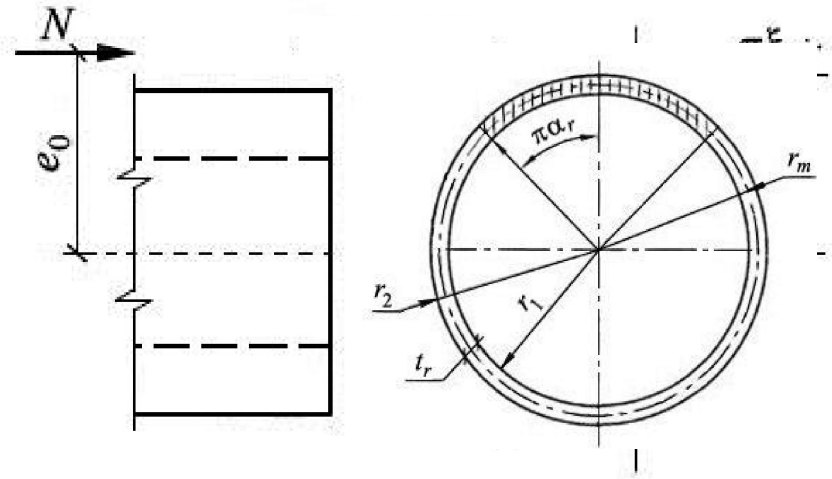
$$A_r = 2 \cdot \pi \cdot r_m \cdot t_r;$$

$r_m$  – радиус срединной поверхности стенки кольцевого элемента, определяемый по формуле:

$$r_m = \frac{r_1 + r_2}{2}$$

$r_1, r_2$  – радиусы внутренней и наружной граней кольцевого сечения;

$$\alpha_r = \frac{0,73 \cdot R_{fbt3}}{R_{fb} + 2 \cdot R_{fbt3}}$$



Схема, принимаемая при расчете кольцевого сечения **сжатого** элемента

Условие прочности:

$$N \cdot e \leq A_r \cdot \left[ R_{fb} \cdot \frac{\sin \pi \alpha_r}{\pi} + R_{fbt3} \cdot (1 - 1,35 \cdot \alpha_r) \cdot 1,6 \cdot \alpha_r \right] \cdot r_m$$

где  $A_r$  – общая площадь кольцевого сечения, определяемая по формуле:

$$A_r = 2 \cdot \pi \cdot r_m \cdot t_r;$$

$r_m$  – радиус срединной поверхности стенки кольцевого элемента, определяемый по формуле:

$$r_m = \frac{r_1 + r_2}{2}$$

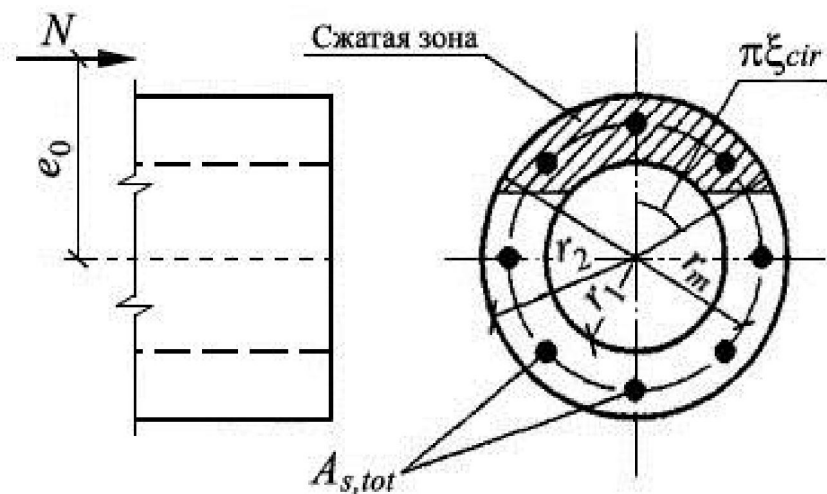
$r_1, r_2$  – радиусы внутренней и наружной граней кольцевого сечения;

$$\alpha_r = \frac{N + R_{fbt3} \cdot A_{fbr}}{(R_{fb} + 3,35 \cdot R_{fbt3}) \cdot A_r}$$

Если полученное значение  $\alpha_r < 0,15$ ,

$\alpha_r$  определяется по формуле:

$$\alpha_r = \frac{N + 0,73 \cdot R_{fbt3} \cdot A_r}{(R_{fb} + 2 \cdot R_{fbt3}) \cdot A_r}$$



Схема, принимаемая при расчете кольцевого сечения **сжатого** элемента

Расчет прочности кольцевых сечений колонн с комбинированным армированием при соотношении внутреннего и наружного радиусов  $r_1/r_2 \geq 0,5$  и арматуре, равномерно распределенной по окружности (при минимум семи продольных стержнях), производится в зависимости от относительной площади сжатой зоны **бетона** по формуле:

$$\xi_{cir} = \frac{N + R_s A_{s,tot} + R_{fbt3} A}{(R_{sc} + 1,7 \cdot R_s) A_{s,tot} + (R_{fb} + R_{fbt3}) A}$$

при  $0,15 < \xi_{cir} < 0,6$  – из условия:

$$M \leq (R_{fb} \cdot A \cdot r_m + R_{sc} \cdot A_{s,tot} \cdot r_s) \cdot \frac{\sin \pi \xi_{cir}}{\pi} + (R_s \cdot A_{s,tot} + R_{fbt3} \cdot A) \cdot r_s \cdot (1 - 1,7 \xi_{cir}) \cdot (0,2 + 1,3 \cdot \xi_{cir})$$

при  $\xi_{cir} \leq 0,15$  – из условия:

$$M \leq (R_{fb} \cdot A \cdot r_m + R_{sc} \cdot A_{s,tot} \cdot r_s) \cdot \frac{\sin \pi \xi_{cir1}}{\pi} + 0,295 \cdot (R_s \cdot A_{s,tot} + R_{fbt3} \cdot A) \cdot r_s, \text{ где } \xi_{cir1} = \frac{N + 0,75 \cdot R_s A_{s,tot}}{R_{sc} \cdot A_{s,tot} + R_{fb} A}$$

при  $\xi_{cir} > 0,6$  – из условия:

$$M \leq (R_{fb} \cdot A \cdot r_m + R_{sc} \cdot A_{s,tot} \cdot r_s) \cdot \frac{\sin \pi \xi_{cir2}}{\pi}, \text{ где } \xi_{cir2} = \frac{N}{R_{sc} \cdot A_{s,tot} + R_{fb} A}$$

$r_s$  – радиус окружности, проходящий через центры тяжести стержней продольной арматуры

Расчетная схема нормального сечения элемента

