

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°C и не ниже минус 70°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 фибрами, 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 $R_{fbt3,ser}$		1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00
$R_{fbt2,n}$	$i = a$	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}		0,77	1,15	1,54	1,92	2,31	2,69	3,08	3,46	3,85	4,23	4,62
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 γ_{bi} , учитывающие особенности работы сталефибробетона в конструкции (характер нагрузки, условия окружающей среды и т. д.):

γ_{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;

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

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

γ_{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;

μ_{fv} - коэффициент фибрового армирования по объему.

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

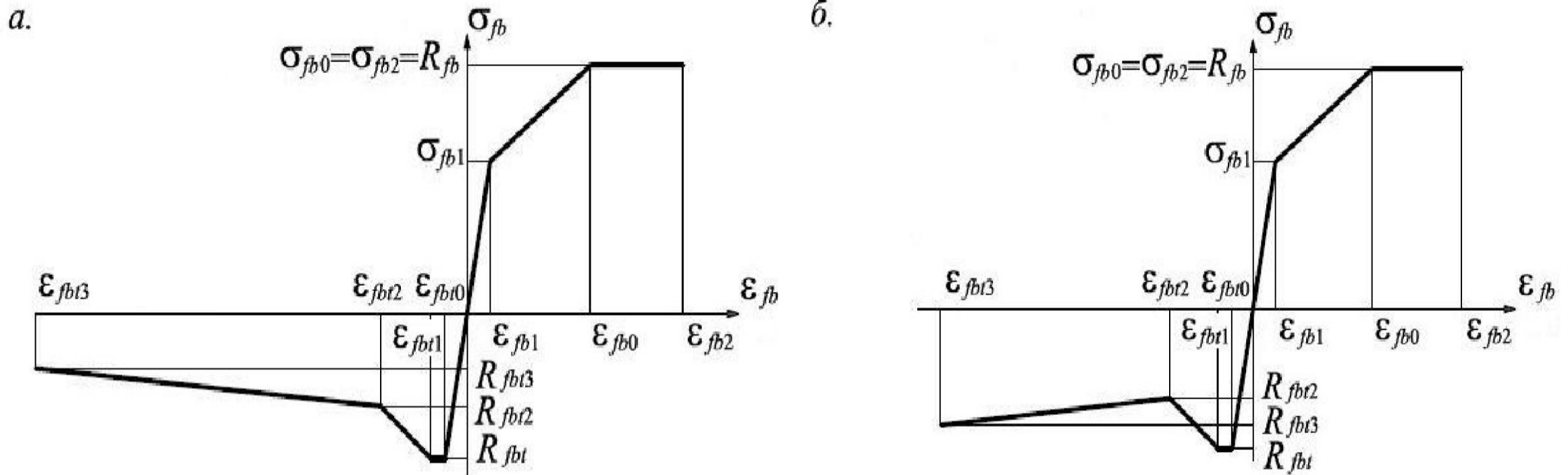
Значение коэффициента (характеристики) ползучести $\varphi_{b,cr}$ принимают как для бетона-матрицы.

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 σ_{fb} в зависимости от относительных деформаций укорочения сталефибробетона ε_{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 σ_{fbt} в зависимости от относительных деформаций укорочения сталефибробетона ε_{fbt} определяют по формулам:

Диаграммы деформирования сталефибробетона

где ε_{fbt0} , ε_{fbt1} , ε_{fbt2} , ε_{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 ε_{fbt1} .

Расчет элементов сталефибробетонных конструкций по предельным состояниям первой группы

Расчет по прочности элементов конструкций на действие изгибающих моментов

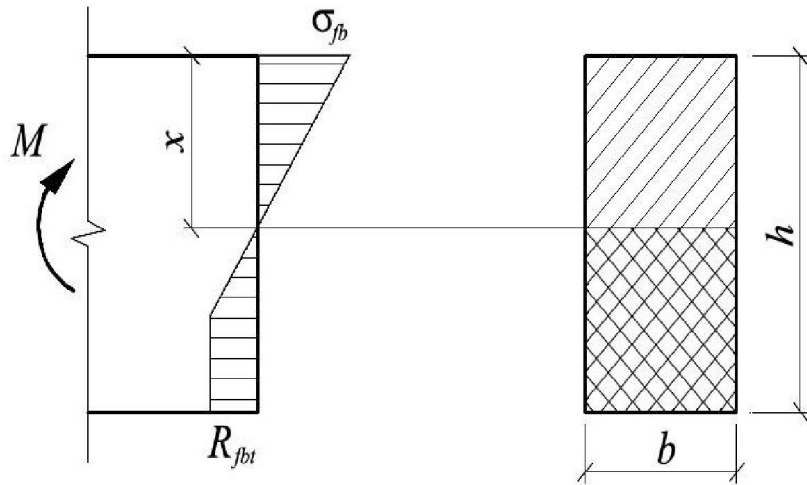


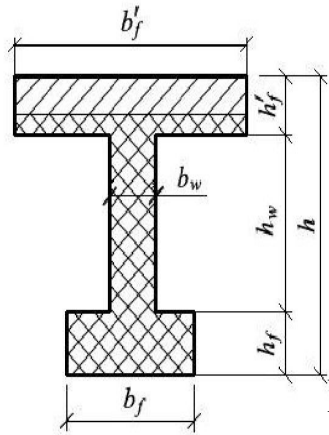
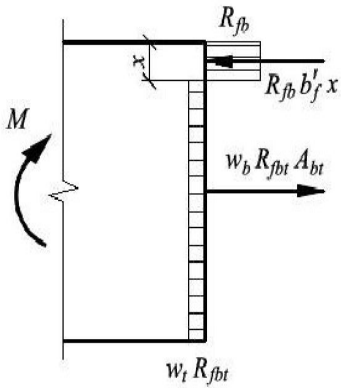
Схема усилий и эпюра напряжений в сечении, нормальном к продольной оси изгибаемого сталефибробетонного элемента прямоугольного сечения без арматуры при его расчете по прочности

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

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

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:

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

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

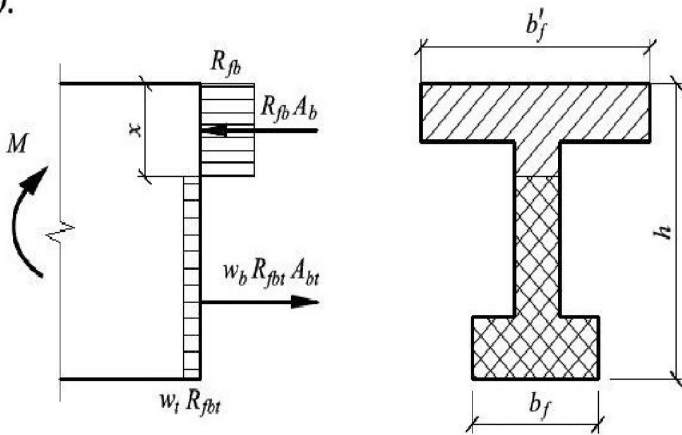
Уравнение равновесия продольных усилий:

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

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

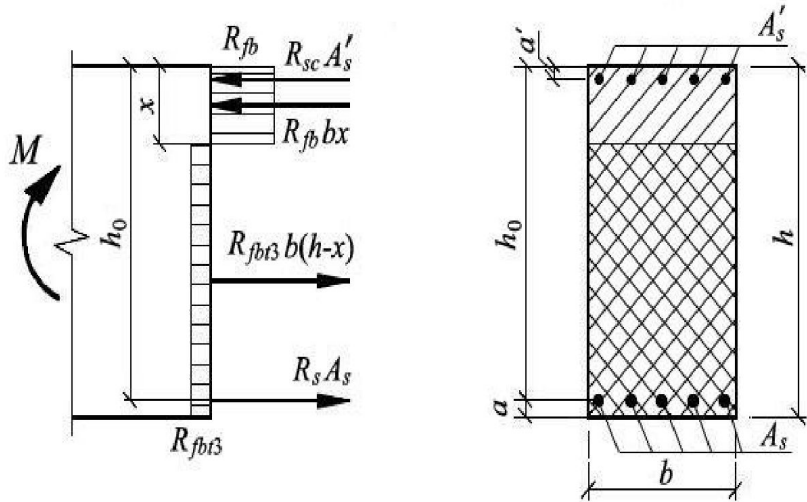


Схема усилий и эпюра напряжений в сечении, нормальном к продольной оси изгибаемого сталефибробетонного элемента прямоугольного сечения с арматурой, при его расчете по прочности

Несущая способность:

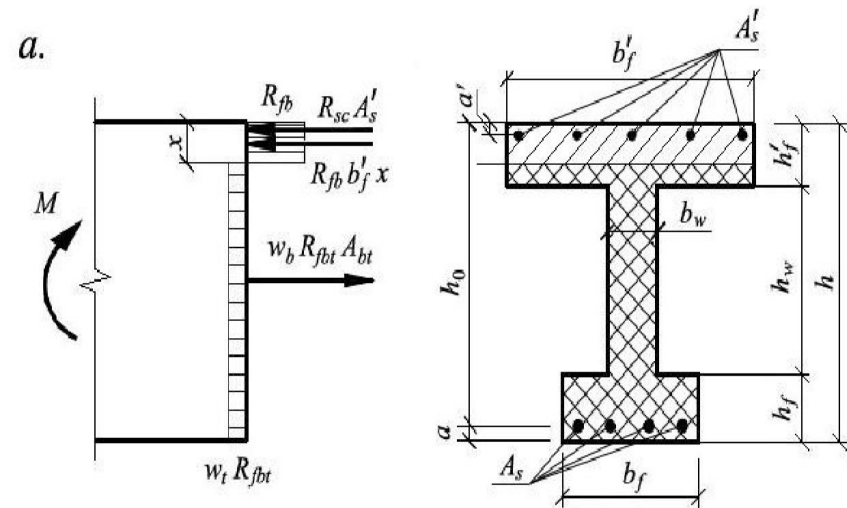
$$M_{ult} = R_{fb} \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - 0,5x) - R_{fbt3} \cdot b \cdot (h - x) \cdot \left(\frac{h - x}{2} - a \right) + R_{sc} \cdot A'_s (h_0 - a')$$

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:

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

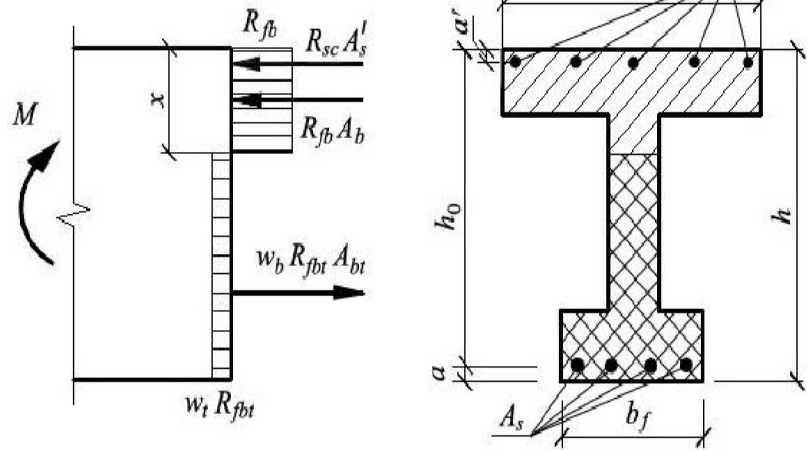
Расчетная высота сжатой зоны:

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

Несущая способность:

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

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:

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

The image shows a large table with a dark teal header bar at the top. The table itself consists of 10 empty rows with a light blue background. The table is currently blank, with no data or text visible within the cells.

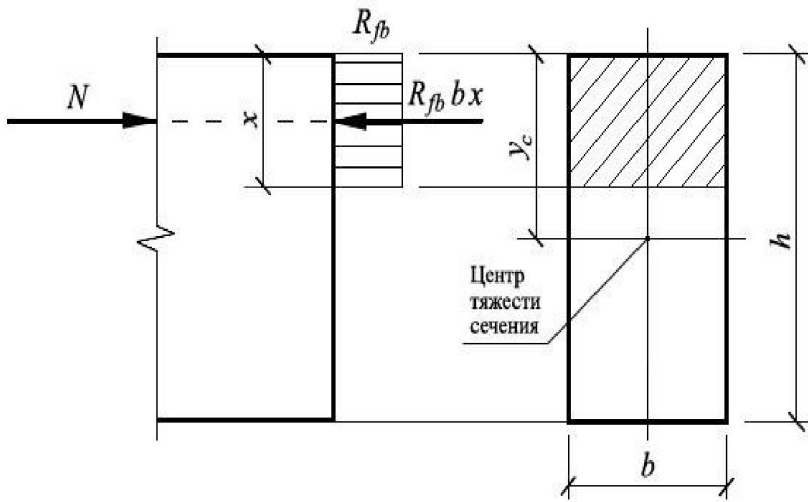


Схема усилий и эпюра напряжений в сечении, нормальном к продольной оси внецентренно сжатого сталефибробетонного элемента, рассчитываемого по прочности без учета сопротивления сталефибробетона растянутой зоны

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

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);

η – 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

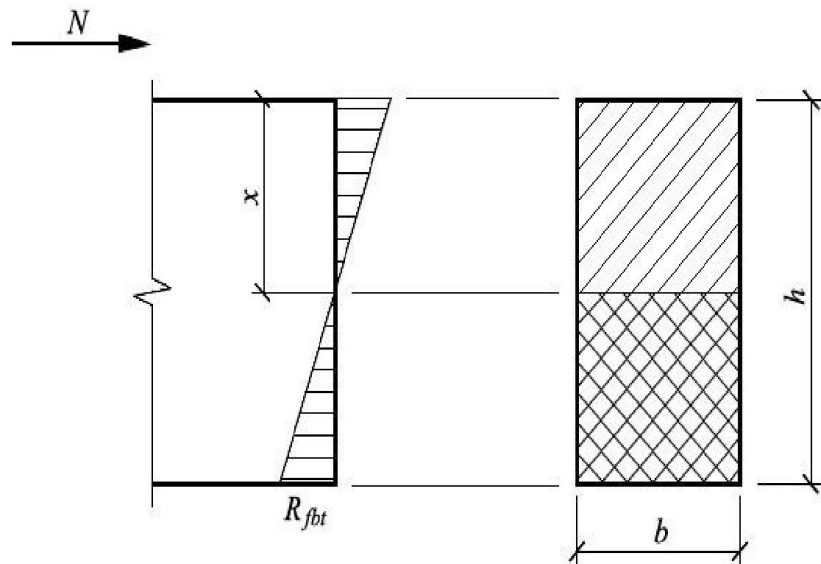


Схема усилий и эпюра напряжений в сечении, нормальном к продольной оси внецентренно сжатого сталефибробетонного элемента, рассчитываемого по прочности с учетом сопротивления сталефибробетона растянутой зоны

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:

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

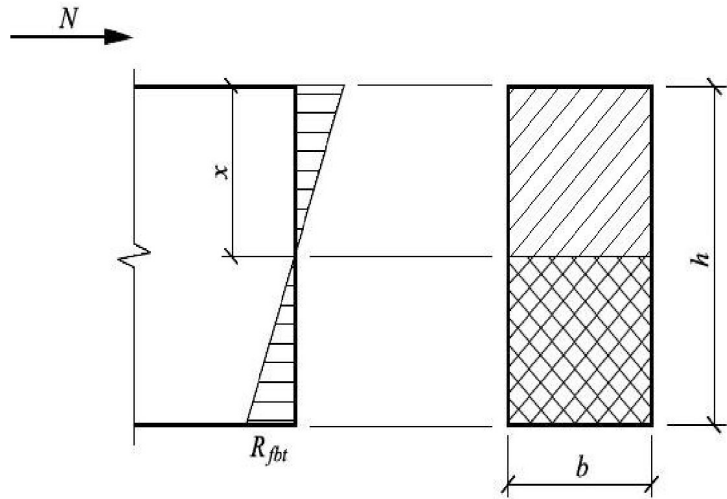


Схема усилий и эпюра напряжений в сечении, нормальном к продольной оси внецентренно сжатого сталефибробетонного элемента, рассчитываемого по прочности с учетом сопротивления сталефибробетона растянутой зоны

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;

η – 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

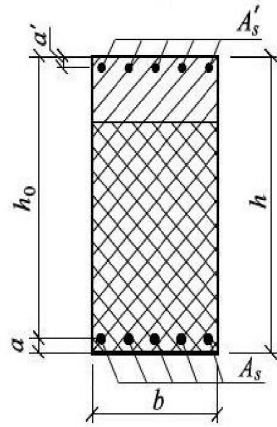
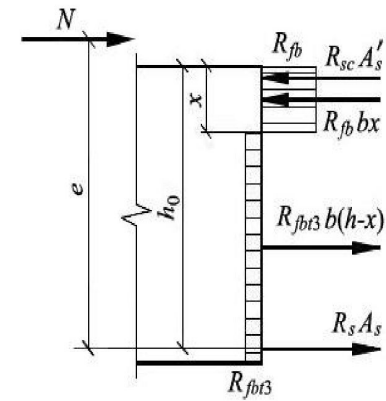


Схема усилий и эпюра напряжений в сечении, нормальном к продольной оси внецентренно сжатого сталефибробетонного элемента с рабочей арматурой, при расчете ее по прочности

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

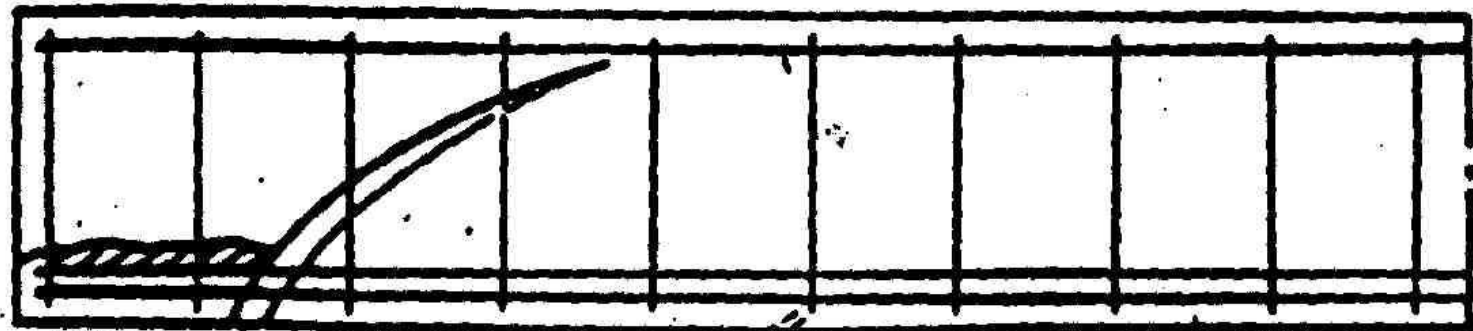
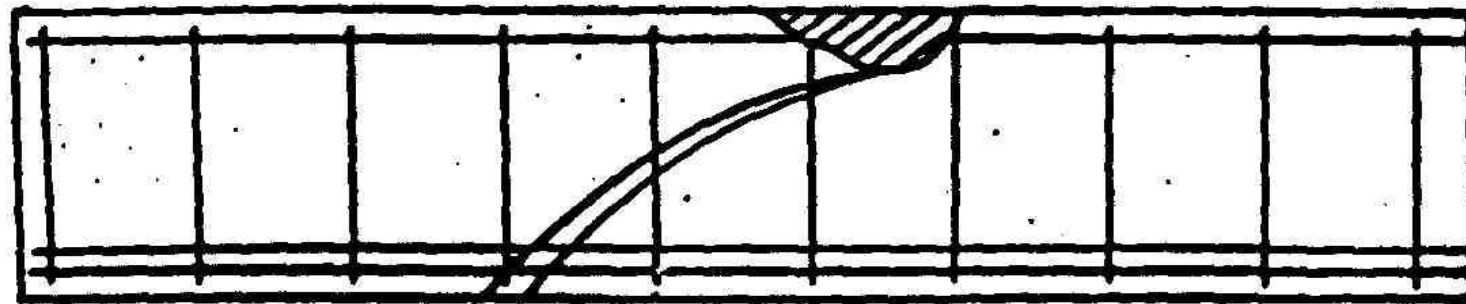
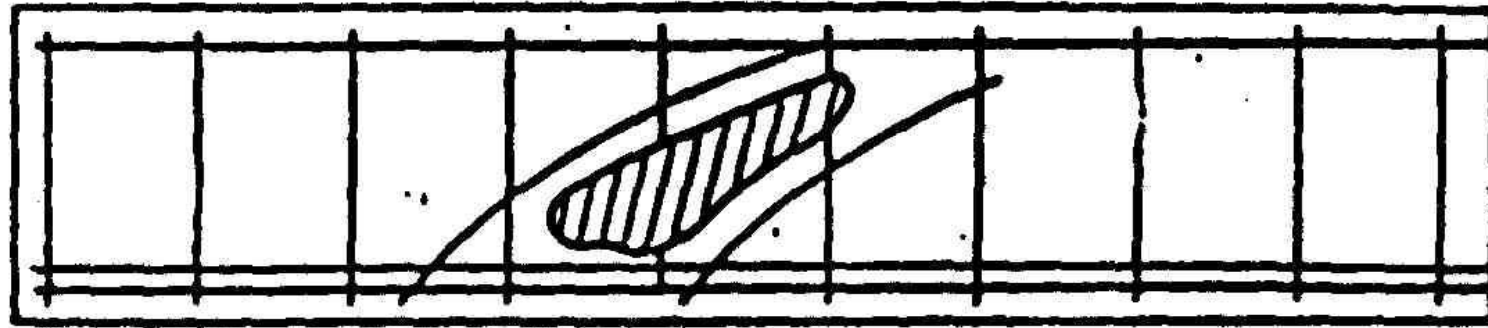
	6	10	15	20
	0,92	0,90	0,83	0,70
	0,91	0,89	0,80	0,65
	0,90	0,88	0,79	0,64

Расчет по прочности железобетонных элементов по наклонным сечениям

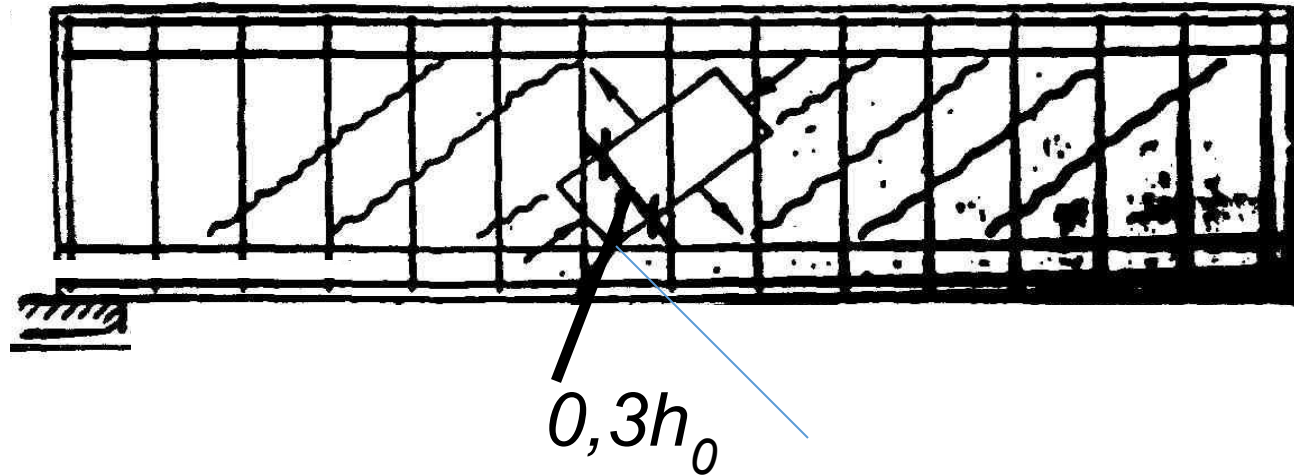
Расчет элементов при действии поперечных сил должен обеспечить прочность:

- 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;
 φ_{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

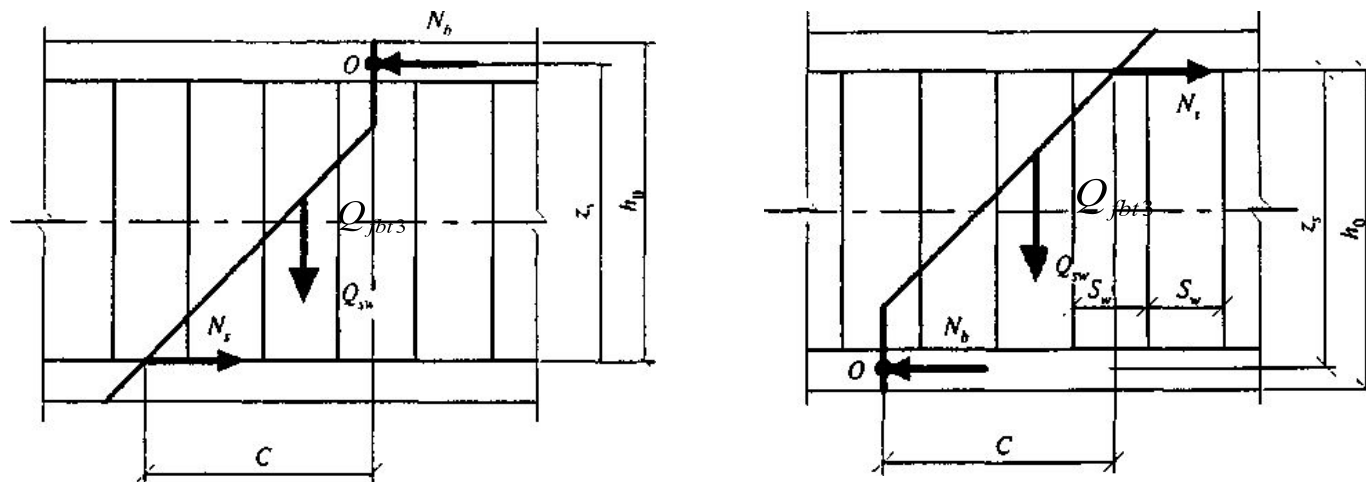


Схема усилий при расчете железобетонных элементов по наклонному сечению на действие моментов

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

$$M_s = N_s \cdot z_s$$

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

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

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

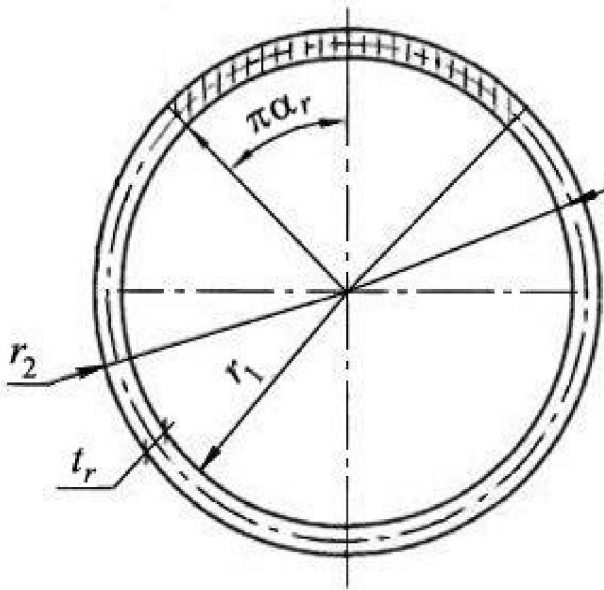


Схема кольцевого сечения сталефибробетонного элемента, принимаемая при его расчете по прочности на **изгиб**.

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:

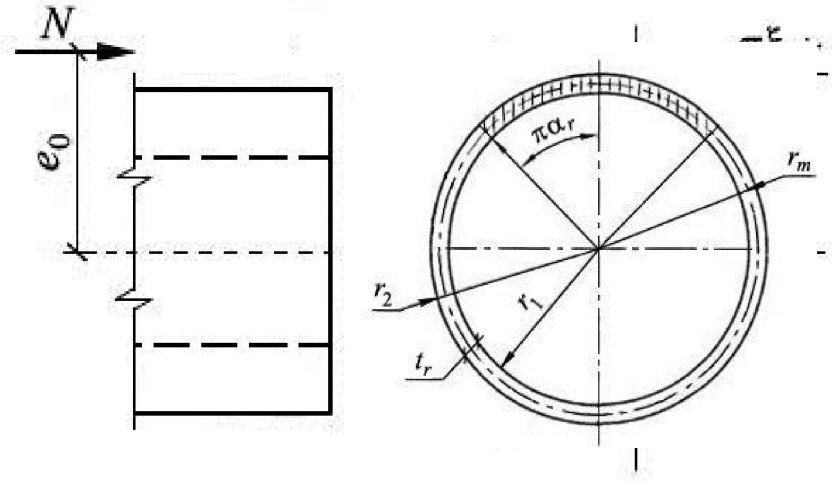
$$A_r = 2 \cdot \pi \cdot r_m \cdot t_r;$$

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;

$$\alpha_r = \frac{0,73 \cdot R_{fb3}}{R_{fb} + 2 \cdot R_{fbt3}}$$



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:

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

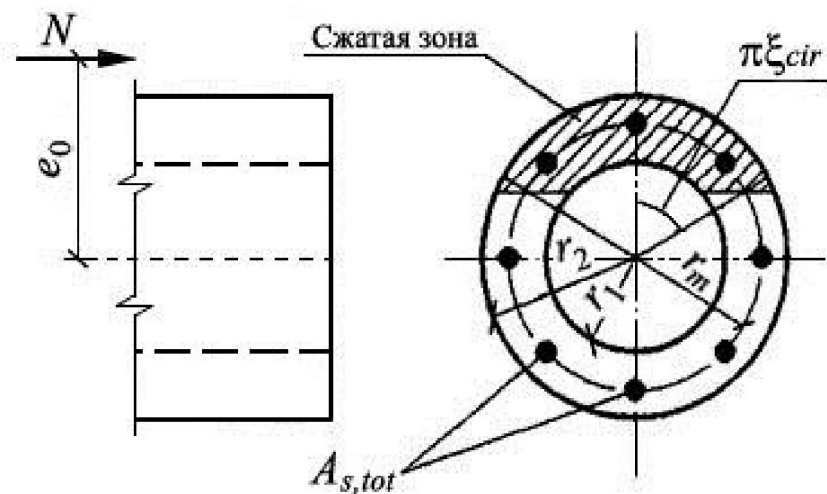
r_1, r_2 – радиусы внутренней и наружной граней кольцевого сечения;

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

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

α_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

