

Изменение N 1

к СП 351.1325800.2017 "Бетонные и железобетонные конструкции из легких бетонов. Правила проектирования"

ОКС 91.100.30

Дата введения 2021-06-16

УТВЕРЖДЕНО И ВВЕДЕНО В ДЕЙСТВИЕ приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России) от 15 декабря 2020 г. N 786/пр

Содержание

Дополнить наименованиями приложений В-Д в следующей редакции:

"Приложение В Расчет по образованию трещин изгибаемых трехслойных элементов со средним слоем из пенополистиролбетона";

"Приложение Г Расчет по образованию трещин элементов прямоугольного сечения с распределенным по контуру армированием при косом изгибе";

"Приложение Д Расчет по жесткости (деформациям) при косом изгибе элементов прямоугольного сечения с распределенным по контуру армированием в стадии работы их с трещинами".

Введение

Дополнить третьим абзацем в следующей редакции:

"Изменение N 1 разработано авторским коллективом ОАО "НИЦ "Строительство" - НИИЖБ им.А.А.Гвоздева (д-р техн. наук *В.Ф.Степанова*, канд. техн. наук *В.И.Саевин*, канд. техн. наук *В.Н.Строцкий*, канд. техн. наук *С.С.Жоробаев*, *С.Г.Зимин*, *М.Ю.Зимина*)."

2 Нормативные ссылки

Дополнить нормативными ссылками в следующей редакции:

"СП 295.1325800.2017 Конструкции бетонные, армированные полимерной композитной арматурой. Правила проектирования";

"СП 297.1325800.2017 Конструкции фибробетонные с неметаллической фиброй. Правила проектирования";

"СП 339.1325800.2017 Конструкции из ячеистых бетонов. Правила проектирования".

СП 16.13330, СП 20.13330, СП 28.13330. Дополнить ссылки словами: "(с изменениями N 1, N 2)".

СП 50.13330. Дополнить ссылку словами: "(с изменением N 1)".

Заменить нормативные ссылки:

"ГОСТ 8736-93 Песок для строительных работ. Технические условия" на "ГОСТ 8736-2014 Песок для строительных работ. Технические условия";

"СП 63.13330.2012 "СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения" (с изменениями N 1, N 2, N 3)" на "СП 63.13330.2018 "СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения" "(с изменением N 1)";

"СП 131.13330.2012 "СНиП 23-01-99 Строительная климатология" (с изменениями N 1, N 2)" на "СП 131.13330.2018 "СНиП 23-01-99* Строительная климатология""".

5 Требования к расчету бетонных и железобетонных конструкций

Дополнить пунктами 5.10-5.15 в следующей редакции:

"5.10 Расчет по прочности многослойных (трехслойных, двухслойных) элементов следует выполнять в соответствии с 7.2.32-7.2.34.

5.11 Расчет по прочности многослойных элементов из легкобетонных блоков несъемной опалубки на действие продольного сжимающего усилия следует выполнять в соответствии с 7.2.35, 7.2.36.

5.12 Расчет по трещиностойкости и деформациям трехслойных и двухслойных элементов следует проводить в соответствии с 8.1.9, 8.1.10, 8.2.2 и 8.3.2.

5.13 Расчеты конструкций с композитной полимерной арматурой по предельным состояниям первой и второй групп следует проводить в соответствии с разделом 4 настоящего свода правил и пунктами 6.1, 7.2, 6.2, 7.3 СП 295.1325800.2017, а также в соответствии с 8.2.1, 8.3.1, 9.1.11, 9.2.2 при условии, что к конструкциям не предъявляются требования по огнестойкости и иные специальные требования.

5.14 Расчеты конструкций с дисперсным армированием (неметаллической фиброй) по предельным состояниям первой и второй групп следует выполнять в соответствии с пунктом 4.5 и подразделами 6.1, 6.2, 7.2, 7.3 СП 297.1325800.2017 при условии, что к конструкциям не предъявляются требования по огнестойкости и иные специальные требования.

5.15 Расчет по образованию трещин и деформациям (жесткости) элементов прямоугольного сечения с распределенным по контуру армированием при косом изгибе рекомендуется выполнять согласно 8.1.11 и 8.3.3.

6 Материалы для бетонных и железобетонных конструкций

Таблицы 6.3, 6.4. Изложить в новой редакции:

"Таблица 6.3

Вид сопротивления	Вид бетона	Нормативные сопротивления бетона $R_{b,n}$, $R_{bl,n}$ и расчетные сопротивления бетона для предельных состояний второй группы $R_{b,ser}$ и $R_{bl,ser}$ при классе бетона по прочности на сжатие, МПа																	
		B1,5	B2,5	B3,5	B5	B7,5	B10	B12,5	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60	
Сжатие осевое (призменная прочность) R_{bn} и $R_{b,ser}$	Бетон плотной структуры	1,5	2,1	2,7	3,5	5,5	7,5	9,5	11,0	15,0	18,5	22,0	22,5	29,0	-	-	-	-	
	Бетон плотной структуры на пористом заполнителе марки по прочности П400-П600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32,5	36,0	39,5	43,0		
Растяжение осевое R_{btn} и $R_{bl,ser}$	Бетон плотной структуры при мелком заполнителе:																		
	- плотном	-	0,29	0,39	0,55	0,70	0,85	1,00	1,15	1,40	1,60	1,80	1,95	2,10	-	-	-	-	
	- пористом	0,17	0,25	0,35	0,48	0,63	0,85	1,00	1,10	1,20	1,35	1,50	1,65	1,80	-	-	-	-	
	Бетон плотной структуры на пористом заполнителе марки по	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,3	2,4	2,55	2,65		

прочности П400-П600																
Примечание - Для бетонов поризованной структуры и керамзитоперлитобетона на вспученном перлитовом песке значения $R_{bt,n}$ и $R_{bt,ser}$ принимают, как для легкого бетона на пористом песке с умножением на коэффициент 0,85.																

"

"Таблица 6.4

Вид сопротивления	Вид бетона	Расчетные сопротивления бетона для предельных состояний первой группы R_b , R_{bt} при классе бетона по прочности на сжатие, МПа																
		B1,5	B2,5	B3,5	B5	B7,5	B10	B12,5	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60
Сжатие осевое (призменная прочность) R_b	Бетон плотной структуры	1,2	1,8	2,3	2,8	4,5	6,0	7,5	8,5	11,5	14,5	17,0	19,5	22,0	-	-	-	-
	Бетон плотной структуры на пористом заполнителе марки по прочности П400-П600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24,7	27,4	30,0	32,7	
Растяжение осевое R_{bt}	Бетон плотной структуры при мелком заполнителе:																	
	- плотном	-	0,20	0,26	0,37	0,48	0,57	0,66	0,75	0,90	1,05	1,20	1,30	1,40	-	-	-	-
	- пористом	0,15	0,20	0,26	0,37	0,48	0,57	0,66	0,74	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	-	-	-	-
	Бетон плотной структуры на пористом заполнителе марки по прочности П400-П600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,54	1,60	1,70	1,80	

Примечание - Для бетонов поризованной структуры и керамзитоперлитобетона на вспученном перлитовом песке значения R_b и R_{bt} принимают, как для бетона на пористом песке с умножением на коэффициент 0,85.

"

Таблица 6.6. Изложить в новой редакции:

"Таблица 6.6

Бетон	Начальные модули упругости бетона при сжатии и растяжении $E_b \cdot 10^{-3}$, МПа, при классе бетона															
	B1,5	B2,5	B3,5	B5	B7,5	B10	B12,5	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55

Плотной структуры, марки по средней плотности:	D400	2,1	2,6	3,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D600	2,7	3,5	5,1	5,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D800	3,5	4,3	5,7	6,3	5,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D1000	-	5,0	6,2	6,9	7,2	8,0	8,7	9,3	-	-	-	-	-	-	-
	D1200	-	6,1	6,7	7,6	8,7	9,5	10,2	10,8	11,3	11,8	-	-	-	-	-
	D1400	-	7,0	7,8	8,8	10,0	11,0	11,7	12,5	13,5	14,5	15,5	-	-	-	-
	D1600	-	-	9,0	10,0	11,5	12,5	13,2	14,0	15,5	16,5	17,5	18,0	-	-	-
	D1800	-	-	-	11,2	13,0	14,0	14,7	15,5	17,0	18,5	19,5	20,0	20,5	-	-
	D2000	-	-	-	-	14,5	16,0	17,0	18,0	19,5	21,0	21,5	22,5	23,5	-	-
Поризованной структуры, марки по средней плотности:	D300	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D400	1,8	2,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D500	2,1	2,5	2,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D600	-	2,8	3,6	3,8	4,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D700	-	3,4	4,1	4,4	5,5	5,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	D800	-	3,8	4,7	5,2	6,1	6,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	P400-П600, марки по плотности	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Плотной структуры на высокопрочном пористом заполнителе, марки по прочности:	D1600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20,8	-	-	-
	D1800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25,8	27,6	30,1	31,5
	D2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26,5	28,5	30,6	33,6

"

Дополнить подраздел 6.1 пунктом 6.1.19 в следующей редакции:

"6.1.19 Расчетные теплофизические характеристики керамзитобетона поризованной структуры без песка (керамзитопенобетона) и крупнопористого (беспесчаного) керамзитобетона следует принимать по таблицам 6.7 и

6.8.

Таблица 6.7 - Расчетные теплотехнические показатели керамзитобетона поризованной структуры без песка (керамзитогенобетона)

Наименование показателя, ед.изм.	Значения показателя						
Марка по средней плотности D	400	500	600	700	800	9000	1000
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C):							
- в сухом состоянии (λ_0)	0,11	0,12	0,13	0,15	0,17	0,20	0,23
- в условиях эксплуатации А (λ_a)	0,12	0,14	0,16	0,19	0,21	0,24	0,27
- в условиях эксплуатации Б (λ_b)	0,15	0,18	0,21	0,24	0,26	0,31	0,36
Удельная теплоемкость в сухом состоянии C_0 , кДж/(кг·°C)	0,84						
Коэффициент паропроницаемости μ , мг/(м·ч·Па)	0,275	0,245	0,215	0,195	0,185	0,165	0,125
Коэффициент теплоусвоения при периоде 24 ч, Вт/(м ² ·ч):							
- в условиях эксплуатации А (s_a)	2,03	2,36	2,86	2,99	3,36	3,87	4,58
- в условиях эксплуатации Б (s_b)	2,46	2,93	3,35	3,74	4,45	5,03	5,99
Расчетное массовое отношение влаги в материале, %:							
- в условиях эксплуатации А (ω_a)	4						
- в условиях эксплуатации Б (ω_b)	8						

Таблица 6.8 - Теплофизические характеристики крупнопористого (беспесчаного) керамзитобетона

Наименование показателя, ед.изм.	Значения показателя					
Марка по средней плотности D	200	300	400	500	600	700
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C):						
- в сухом состоянии (λ_0)	0,085	0,095	0,105	0,120	0,130	0,135
- в условиях эксплуатации А (λ_a)	0,095	0,105	0,115	0,130	0,140	0,145
- в условиях эксплуатации Б (λ_b)	0,100	0,110	0,125	0,140	0,150	0,155
Удельная теплоемкость в сухом состоянии C_0 , кДж/(кг·°C)	0,84					

Коэффициент паропроницаемости μ , мг/(м·ч·Па)	0,195	0,195	0,175	0,165	0,155	0,145
Коэффициент теплоусвоения при периоде 24 ч, Вт/(м ² ·ч):						
- в условиях эксплуатации А (s_a)	1,51	1,51	1,82	2,16	2,46	2,70
- в условиях эксплуатации Б (s_b)	1,62	1,62	1,99	2,36	2,68	2,94
Расчетное массовое отношение влаги в материале, %:						
- в условиях эксплуатации А (ω_a)				3,5		
- в условиях эксплуатации Б (ω_b)				6		

Теплотехнические показатели керамзитобетона на керамзитовом песке следует принимать по СП 50.13330.2012.".

Пункт 6.2.1 дополнить пунктом 6.2.2 в следующей редакции:

"6.2.2 Требования к нормативным и расчетным характеристикам композитной полимерной арматуры и дисперсного армирования (неметаллической фибры) следует принимать в соответствии с подразделом 5.2 СП 295.1325800.2017, а также пунктами 5.2.10 и 5.2.11 СП 339.1325800.2017".

7 Расчет элементов бетонных и железобетонных конструкций по предельным состояниям первой группы

Дополнить пунктами 7.2.32-7.2.36 в следующей редакции:

"7.2.32 Расчет по прочности многослойных элементов с жесткими связями выполняется по приведенному (однородному, т.е. из материала одной прочности) поперечному сечению.

В расчет следует принимать площадь приведенного сечения A_{red} и расчетное сопротивление слоя, к которому приводится сечение. При приведении сечения к одному материалу толщину слоев принимают фактической, а ширина слоев (по длине элемента) изменяется пропорционально отношению расчетных сопротивлений прочности слоев по формуле

$$b_{red} = b_i (R'_{bi} / R_b), \quad (7.79)$$

где b_{red} - приведенная ширина слоя;

b_i - фактическая ширина i -го слоя;

R_b - расчетное сопротивление прочности слоя, к материалу которого приводят сечение;

R'_{bi} - расчетное сопротивление прочности любого другого i -го слоя элемента.

Расчет приведенного сечения как бетонных, так и железобетонных элементов выполняют по формулам, приведенным в 7.1 и 7.2.1-7.2.15.

7.2.33 Прочность изгибаемых трехслойных и двухслойных элементов с теплоизоляционным и несущими слоями (рисунок 7.18) рассчитывают по нормальнym сечениям и на сдвиг слоев относительно друг друга.

Расчет по прочности нормальных сечений трехслойных и двухслойных элементов с жесткими связями между слоями выполняют по приведенному поперечному сечению в соответствии с 7.2.32. При этом форма

приведенного поперечного сечения может быть как двутавровой (рисунок 7.18, а), так и тавровой (рисунок 7.18, б).

При этом ширина (толщина) b вертикальной стенки (теплоизоляционного слоя из легкого крупнопористого (поризованного) легкого бетона или пенополистиролбетона) приведенного двутаврового сечения будет определяться по формуле

$$b = \frac{b_f + b'_f}{2} (R'_b / R_b), \quad (7.80)$$

где b_f и b'_f - ширина нижней и верхней полок соответственно двутаврового поперечного сечения, являющихся несущими слоями (из конструкционного легкого или тяжелого бетона) трехслойного элемента;

R_b - расчетное сопротивление прочности при сжатии несущего слоя из конструкционного легкого или тяжелого бетона;

R'_b - расчетное сопротивление прочности при сжатии теплоизоляционного слоя из легкого крупнопористого (поризованного) легкого бетона или пенополистиролбетона.

Для таврового сечения двухслойного элемента с боковыми несущими гранями (рисунок 7.18, б)

$$b = b_1 + b_2 + b_3 (R'_b / R_b), \quad (7.81)$$

где b_1 и b_2 - средние значения ширины боковых несущих граней;

b_3 - среднее значение ширины теплоизоляционного слоя.

7.2.34 Прочность изгибаемых трехслойных элементов на сдвиг слоев рассчитывают из условия

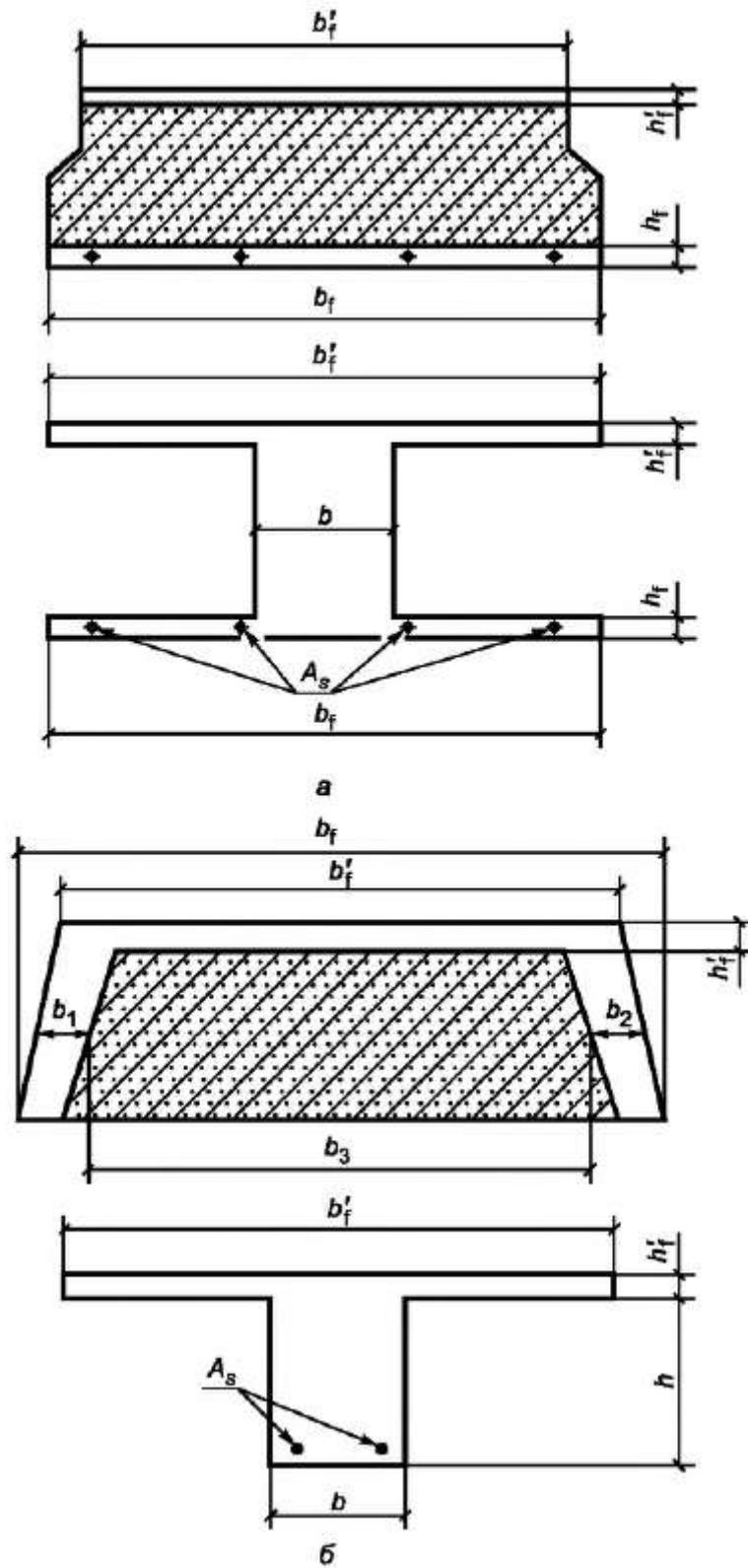
$$Q \leq 0,6 R_{bt} b'_f h_0, \quad (7.82)$$

где R_{bt} - расчетное сопротивление прочности бетона слоя на растяжение.

Прочность по наклонным сечениям на сдвиг слоев изгибаемых элементов с боковыми несущими гранями (рисунок 7.18, б) рассчитывают по формуле

$$Q \leq 0,8 R_{bt} b h_0, \quad (7.83)$$

где $b = b_1 + b_2$ - суммарная ширина боковых граней.



а - плита перекрытия трехслойная; б - плита перекрытия с боковыми несущими гранями
Рисунок 7.18 - Схемы поперечных сечений трехслойного (а) и двухслойного (б) элементов

При невыполнении условия (7.83) в боковых несущих гранях предусматривается поперечная арматура (хомуты), и прочность по наклонным сечениям боковых граней рассчитывают как для таврового элемента без учета теплоизоляционного слоя.

Для двухслойных элементов, армированных стержневой арматурой, должна быть осуществлена проверка прочности по наклонным сечениям от сдвига несущего слоя плотного бетона относительно слоя

теплоизоляционного бетона из условия

$$N_{xy} \leq a_t b R_{bt}, \quad (7.84)$$

где N_{xy} - сдвигающее усилие, воспринимаемое несущим слоем двухслойного элемента;

b - ширина площади сопряжения двух слоев бетона в сечении элемента, в котором определяют прочность на сдвиг;

R_{bt} - расчетное сопротивление теплоизоляционного бетона на растяжение, принимаемое в зависимости от его класса по прочности на сжатие, но не более 0,15 МПа (1,5 кгс/см²);

a_t - расстояние от оси опоры до первой косой трещины (до наиболее опасного наклонного сечения), определяемое по формуле

$$a_t = M_{pl} / Q, \quad (7.85)$$

здесь M_{pl} - момент появления трещин, определяемый с учетом сжатой и растянутой арматуры для опорного сечения;

Q - расчетная поперечная сила, определяемая в сечении на расстоянии a_f от опоры. Допускается принимать максимальное значение величины Q , соответствующее опорному сечению.

Значение предельного сдвигающего усилия по бетону в слое элемента определяется по формуле

$$N_{xy,ult} = 0,3 R_b A_b, \quad (7.86)$$

где A_b - рабочая площадь поперечного сечения бетона в слое элемента.

7.2.35 Расчет многослойных ограждающих конструкций из легкобетонных блоков несъемной опалубки (рисунки 7.19 и 7.20) на действие продольного сжимающего усилия (с бетонным или железобетонным ядром) выполняют по приведенному поперечному сечению (рисунок 7.21).

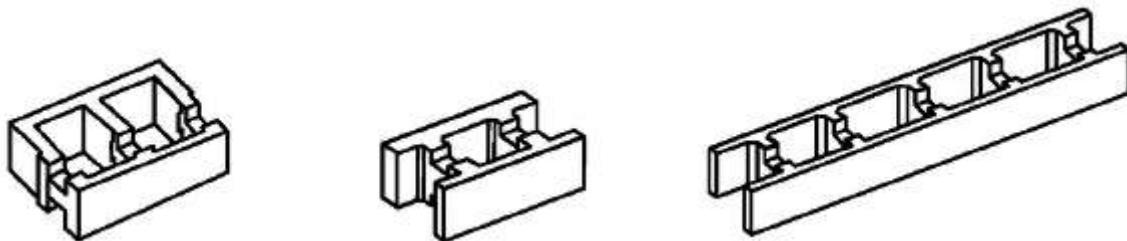


Рисунок 7.19 - Примеры блоков опалубки из легких бетонов без интегрированной дополнительной теплоизоляции

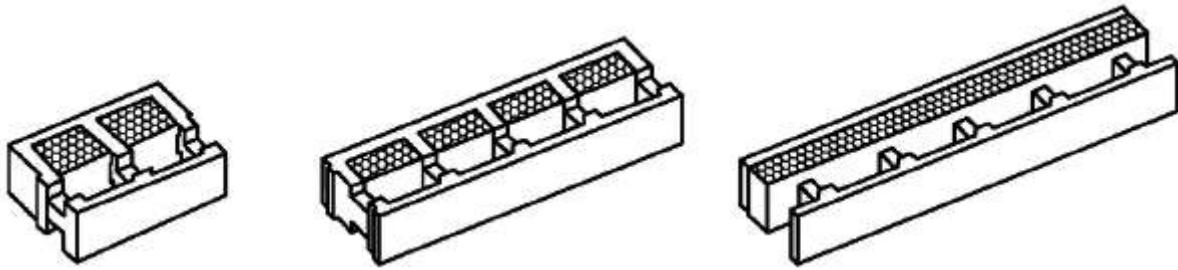


Рисунок 7.20 - Примеры блоков опалубки из легких бетонов с интегрированной дополнительной теплоизоляцией (термовкладышами)

Приведенную ширину $b_{red} = b'_{red}$ (рисунок 7.21) крайних слоев легкобетонных блоков опалубки из легкого бетона с их фактической толщиной, а также приведенную ширину поперечных стенок и диафрагм (перемычек) b_{red} этой опалубки определяют по формуле (7.79).

При этом в данной формуле принимают следующие обозначения:

- $b_i = b$ - ширина фрагмента ограждающей конструкции, в пределах которого выполняют расчет, или общая ширина (толщина) всех поперечных стенок и диафрагм - $b_i = \sum b + \sum b_{диаф} * в$ пределах этого фрагмента;

* Формула соответствует оригиналу. - Примечание изготовителя базы данных.

- R'_{bi} - расчетное сопротивление при сжатии легкого бетона несъемной опалубки;

- R_b - расчетное сопротивление при сжатии бетонного ядра (из тяжелого бетона).

Ширину среднего слоя из бетонного ядра принимают фактической за вычетом поперечных диафрагм легкобетонных блоков опалубки $b^* = b - (\sum b_{ст} + \sum b_{диаф})$ в пределах фрагмента ограждающей конструкции.

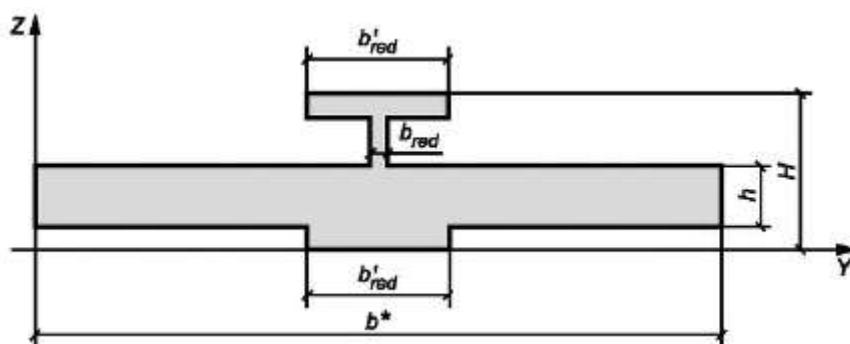


Рисунок 7.21 - Приведенное поперечное сечение ограждающих конструкций

Далее расчет приведенного сечения из легкобетонных блоков несъемной опалубки с бетонным (железобетонным) ядром выполняют как внецентренно сжатых бетонных или железобетонных элементов по формулам, приведенным в 7.1.1-7.1.7 и 7.2.8-7.2.11.

7.2.36 Сжатые элементы ограждающей конструкции прямоугольного сечения из пустотелых (без бетонного ядра) легкобетонных блоков с термовкладышами (рисунок 7.20) допускается рассчитывать на вертикальные нагрузки (при величине эксцентриситета $0 < e_0 \leq 0,4h$) из условия

$$N \leq 0,75\varphi K_m R_b A \Psi_b, \quad (7.87)$$

где A - площадь поперечного сечения однослойного элемента;

Ψ_b - коэффициент, учитывающий влияние эксцентрикитета e_0 и принимаемый равным

$$\Psi_b = 1 - \frac{2e_0}{h}; \quad (7.88)$$

Φ - коэффициент, учитывающий влияние гибкости и длительного действия нагрузки, принимаемый по таблице 7.5;

Таблица 7.5 - Значения коэффициента Φ в зависимости от соотношения усилий $N_{дл} / N$ и гибкости I_0 / h

$N_{дл} / N$	Коэффициент Φ при I_0 / h						
	4	6	8	10	12	14	15
0	1	1	0,9	0,83	0,76	0,7	0,66
0,5	0,95	0,85	0,77	0,7	0,63	0,57	0,55
1,0	0,8	0,72	0,63	0,55	0,47	0,38	0,35

Примечания

1 При промежуточных значениях I_0 / h и $N_{дл} / N$ коэффициенты Φ определяются по интерполяции.

2 В настоящей таблице применены следующие обозначения:

$N_{дл}$ - продольная сжимающая сила от действия постоянных и длительных нагрузок;

N - продольная сила от действия всех нагрузок (постоянных, длительных и кратковременных).

K_m - коэффициент, учитывающий влияние монтажных контактных швов на снижение расчетного сопротивления R_b и определяемый по формуле

$$K_m = K_3 \left(1 - \frac{0,1}{0,25 + \frac{B}{B'}} \right) \leq 0,8, \quad (7.89)$$

здесь K_3 - коэффициент, учитывающий влияние монтажа в зимних условиях на несущую способность ограждающей конструкции в любом возрасте; при монтаже стен в зимних условиях $K_3=0,8$, в летних условиях $K_3=1$;

B' и B - класс легкого бетона и раствора соответственно по прочности на сжатие".

8 Расчет элементов железобетонных конструкций по предельным состояниям второй группы

Дополнить подраздел 8.1 пунктами 8.1.9-8.1.11 в следующей редакции:

"8.1.9 Расчет по образованию трещин изгибаемых трехслойных и двухслойных элементов выполняют по приведенным двутавровым и тавровым поперечным сечениям (рисунок 7.18).

При этом ширину (толщину) b вертикальной стенки (среднего теплоизоляционного слоя из легкого крупнопористого (поризованного) легкого бетона) приведенного двутаврового поперечного сечения определяют по формуле

$$b = \frac{b_f + b'_f}{2} (E'_b/E_b). \quad (8.20)$$

Ширина (толщина) b вертикальной стенки таврового сечения двухслойного элемента с боковыми несущими гранями (рисунок 7.18, б) будет равна

$$b = b_1 + b_2 + b_3 (E'_b/E_b). \quad (8.21)$$

В формулах (8.20) и (8.21):

E_b - модуль упругости несущего слоя из конструкционного легкого или тяжелого бетонов;

E'_b - модуль упругости теплоизоляционного среднего слоя из крупнопористого (поризованного) легкого бетона.

Расчет по образованию трещин в общем случае выполняют из условия

$$M \leq R_{bt,ser} W_{pl}, \quad (8.22)$$

где W_{pl} - упругопластический момент сопротивления двутаврового и таврового приведенных поперечных сечений, определяемый по формуле

$$W_{pl} = (0,292 + 0,075\gamma_1 + 0,75\gamma_2)bh^2. \quad (8.23)$$

Использованные в формуле (8.23) коэффициенты γ_1 и γ_2 определяются по следующим зависимостям:

$$\gamma_1 = 2 \frac{(b'_f - b)h'_f}{bh} \text{ и } \gamma_2 = \frac{(b_f - b)h_f}{bh}, \quad (8.24)$$

где b_f - ширина нижней полки двутаврового поперечного сечения, являющегося несущим слоем (из конструкционного легкого или тяжелого бетона) трехслойного элемента;

b'_f - ширина верхних полок двутаврового и таврового поперечных сечений, являющихся несущими слоями (из конструкционного легкого или тяжелого бетона) трехслойного и двухслойного элементов;

h_f - толщина нижней полки (несущего слоя) двутаврового поперечного сечения;

h'_f - толщина верхней полки (несущего слоя) двутаврового и таврового поперечных сечений;

b - толщина вертикальной стенки двутаврового и таврового приведенных поперечных сечений.

8.1.10 Расчет по образованию трещин изгибаемых трехслойных элементов со средним теплоизоляционным слоем из пенополистиролбетона, жестко связанным с крайними несущими слоями, выполняют в соответствии с приложением В.

8.1.11 Расчет по образованию трещин элементов прямоугольного сечения с распределенным по контуру армированием при косом изгибе допускается выполнять в соответствии с приложением Г."

Пункт 8.2 дополнить пунктами 8.2.1 и 8.2.2 в следующей редакции:

"8.2.1 Расчет железобетонных элементов по раскрытию трещин выполняют в соответствии с СП 63.13330.

При этом коэффициент ψ_s , определяемый по формуле (8.138) СП 63.13330.2018, при вычислении ширины раскрытия нормальных трещин по формуле (8.128) СП 63.13330.2018 следует увеличивать для изгибаемых элементов из легкого бетона на либоидной пемзе со стеклопластиковой арматурой на 10%.

8.2.2 Ширину раскрытия трещин трехслойных и двухслойных элементов, нормальных к продольной оси элемента a_{crc} , мм, допускается определять по формуле

$$a_{crc} = K \alpha_1 \eta \frac{\sigma_s}{E_s} l_{crc}, \quad (8.25)$$

где σ_s - напряжение в арматуре, определяемое в предположении, что высота сжатой зоны равна толщине верхнего слоя

$$\sigma_s = \frac{M}{A_s(h_0 - \frac{h_f}{2})}; \quad (8.26)$$

l_{crc} - расстояние между трещинами, принимаемое по таблице 8.1;

Таблица 8.1

h_f , см	l_{crc} , см, при $\mu = A_s / A_b$, %				
	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35 и выше
2,5	30	25	22	20	17
3	25	20	18	16	14
4	20	16	15	14	13

Примечание - Для промежуточных значений h_f и μ значение l_{crc} принимают по интерполяции.

A_b - полная площадь поперечного сечения элемента;

K - коэффициент, зависящий от класса бетона нижнего слоя, принимаемый:

- для бетона класса В15 1;

- для бетона класса В20 0,85;

- для бетона класса В25 0,7;

η - коэффициент, зависящий от вида продольной растянутой арматуры, равный:

- для стержней периодического профиля $\eta=0,7$;

- для сварных каркасов и сеток $\eta=1,25$;

α_1 - коэффициент, учитывающий длительное действие нагрузки, определяемый из выражения

$$\alpha_1 = 1 + \frac{M_{\text{дл}}}{M}, \quad (8.27)$$

где $M_{\text{дл}}$ - момент от длительно действующей части нагрузки;
 M - общий момент от кратковременной и длительной нагрузки.".

Пункт 8.3 дополнить новыми пунктами 8.3.1-8.3.3 в следующей редакции:

"8.3.1 Расчет элементов железобетонных конструкций по деформациям выполняют в соответствии с СП 63.13330.

Коэффициент ψ_s , определяемый по формуле (8.138) СП 63.13330.2018, при вычислении приведенного модуля деформаций растянутой арматуры по формуле (8.159) СП 63.13330.2018 следует увеличивать для изгибаемых элементов из легкого бетона на литоидной пемзе со стеклопластиковой арматурой на 10%.

8.3.2 При расчете многослойных элементов по деформациям (прогибам) ширину теплоизоляционных слоев b_{red} приведенного поперечного сечения принимают пропорционально отношению модулей упругости слоев по формуле

$$b_{red} = b_i \cdot (E'_{bi}/E_b), \quad (8.28)$$

где E_b - модуль упругости несущего слоя из конструкционного легкого или тяжелого бетонов;

E'_{bi} - модуль упругости теплоизоляционного i -го слоя из крупнопористого (поризованного) легкого бетона, пенополистиролбетона и др.

8.3.3 Расчет по деформациям (жесткости) элементов прямоугольного сечения с распределенным по контуру армированием при косом изгибе допускается выполнять в соответствии с приложением Д".

9 Предварительно напряженные железобетонные конструкции

Подраздел 9.1. Дополнить пунктом 9.1.11 в следующей редакции:

"9.1.11 Длину зоны передачи напряжений l_p для напрягаемой стеклопластиковой арматуры без анкеров в изгибаемых элементах из легкого бетона на литоидной пемзе следует определять по формуле

$$l_p = \left(2,55 \frac{\sigma_{sp}}{R_{bp}} + 10 \right) d. \quad (9.11)".$$

Подраздел 9.2. Дополнить пунктом 9.2.2 в следующей редакции:

"9.2.2 Расчет прямоугольных сечений изгибаемых предварительно напряженных элементов из легкого бетона на литоидной пемзе со стеклопластиковой арматурой в растянутой зоне выполняют из условия

$$M \leq R_b b h_0^2 \xi_R (1 - \xi_R), \quad (9.12)$$

$$\xi_R = \frac{\omega}{1 + \frac{R_s + 400 - \sigma_{sp}}{1000} (1 - \frac{\omega}{1,1})}, \quad (9.13)$$

здесь σ_{sp} - предварительное напряжение в арматуре с учетом всех потерь".

10 Конструктивные требования

Первый абзац. Дополнить предложением в следующей редакции:

"При проектировании бетонных и железобетонных конструкций с композитной полимерной арматурой и дисперсным армированием следует руководствоваться требованиями СП 295.1325800.2017 (раздел 8) и СП 297.1325800.2017 (раздел 8)".

Дополнить свод правил приложениями В-Д в следующей редакции:

"Приложение В

Расчет по образованию трещин изгибаемых трехслойных элементов со средним слоем из пенополистиролбетона

Расчет по образованию трещин изгибаемых трехслойных элементов со средним слоем из пенополистиролбетона выполняют на основании следующих предпосылок:

- наибольшее относительное удлинение крайнего растянутого волокна конструкционного бетона наружного несущего слоя принимают равным $2R_{bt,ser} / E_b$;

- распределение деформаций по высоте поперечного сечения принимают линейным - согласно гипотезе плоских сечений; напряжения в крайнем растянутом волокне бетона среднего теплоизоляционного слоя соответствуют деформации, определенной по данной гипотезе.

Напряжение сжатия по верхней грани элемента определяют по формуле

$$-\sigma^{k\bar{b}}_{1-1} = -2R_{bt,ser} \frac{x}{h-x}, \quad (B.1)$$

где x - высота сжатой зоны бетона, определенная из условия равновесия внутренних сил в поперечном сечении элемента.

Напряжение сжатия по нижней грани верхнего несущего слоя из конструкционного бетона определяют по формуле

$$-\sigma^{k\bar{b}}_{2-2} = -2R_{bt,ser} \frac{x-h_f'}{h-x}. \quad (B.2)$$

Напряжение сжатия по верхней грани среднего теплоизоляционного слоя из пенополистиролбетона определяют по формуле

$$-\sigma^{n\bar{b}}_{2-2} = -2R_{bt,ser} E'_b / E_b \frac{x-h_f'}{h-x}, \quad (B.3)$$

где E'_b - модуль упругости теплоизоляционного среднего слоя из пенополистиролбетона.

Растягивающее напряжение по нижней грани среднего теплоизоляционного слоя из пенополистиролбетона определяют по формуле

$$\sigma^{n\bar{b}}_{3-3} = 2R_{bt,ser} E'_b / E_b \frac{h-x-h_f}{h-x}. \quad (B.4)$$

Напряжение в растянутой рабочей арматуре определяют по формуле

$$\sigma_s = 2R_{bt,ser} E_s / E_b \frac{h-x-a}{h-x}, \quad (B.5)$$

где a - расстояние от нижней грани элемента до центра тяжести арматуры.

Растягивающие напряжения по верхней и нижней грани нижнего несущего слоя из конструкционного бетона определяют по формуле

$$\sigma^{k\bar{b}}_{3,4-3,4} = R_{bt,ser}. \quad (B.6)$$

Таким образом, сжимающее усилие в верхнем слое из конструкционного бетона будет определяться по формуле

$$-N^{\text{кб}}_{\text{сж}} = -R_{bt,ser} \left(\frac{2x - h'f}{h - x} \right) h'f b'f. \quad (\text{B.7})$$

Сжимающее усилие в среднем теплоизоляционном слое из пенополистиролбетона в пределах участка сжатой зоны высотой, равной $x - h'f$, определяют по формуле

$$-N^{\text{пб}}_{\text{сж}} = -R_{bt,ser} \cdot E'_b / E_b \cdot \frac{x - h'f}{h - x} \cdot (x - h'f) \cdot \frac{b_f + b'_f}{2}. \quad (\text{B.8})$$

Растягивающее усилие в среднем теплоизоляционном слое из пенополистиролбетона в пределах высоты, равной $h - x - h_f$, определяют по формуле

$$N^{\text{пб}}_{\text{раст}} = R_{bt,ser} \cdot E'_b / E_b (h - x - h_f) \frac{b_f + b'_f}{2}. \quad (\text{B.9})$$

Растягивающее усилие в нижнем несущем слое из конструкционного бетона определяют по формуле

$$N^{\text{кб}}_{\text{раст}} = R_{bt,ser} h_f \frac{b_f + b'_f}{2}. \quad (\text{B.10})$$

Растягивающее усилие в рабочей арматуре определяют по формуле

$$N_s = 2R_{bt,ser} \alpha_s A_s \frac{h - x - a}{h - x}, \quad (\text{B.11})$$

где $\alpha = E_s / E_b$.

Значение высоты сжатой зоны x определяют из уравнения равновесия внутренних усилий в поперечном сечении элемента, которое имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} & -R_{bt,ser} \left(\frac{2x - h'f}{h - x} \right) h'f b'f - R_{bt,ser} \cdot E'_b / E_b \cdot \frac{x - h'f}{h - x} \cdot (x - h'f) \cdot \frac{b_f + b'_f}{2} + R_{bt,ser} h_f \frac{b_f + b'_f}{2} + \\ & + R_{bt,ser} \cdot E'_b / E_b \cdot (h - x - h_f) \cdot \frac{b_f + b'_f}{2} + 2R_{bt,ser} \alpha \cdot A_s \cdot \frac{h - x - a}{h - x} = 0. \end{aligned} \quad (\text{B.12})$$

Координаты равнодействующих усилий в сжатой зоне определяют по формуле

$$y_c = \frac{N^{\text{кб}}_{\text{сж}} \left[h'f \left(\frac{3x - 2h'f}{2x - h'f} \right) \right] + N^{\text{пб}}_{\text{сж}} (2x + h'f)}{3(N^{\text{кб}}_{\text{сж}} + N^{\text{пб}}_{\text{сж}})}. \quad (\text{B.13})$$

Координаты равнодействующих усилий в растянутой зоне определяют по формуле

$$y_p = \frac{N^{\text{пб}}_{\text{раст}} [2/3(h - x - h_f) + h_f] + N^{\text{кб}}_{\text{раст}} \cdot 0,5h_f + N_s a}{N^{\text{пб}}_{\text{раст}} + N^{\text{кб}}_{\text{раст}} + N_s}. \quad (\text{B.14})$$

Изгибающий момент M_{pl} образования нормальных трещин в элементе определяют по формуле

$$M_{pl} = (N^{\text{пб}}_{\text{раст}} + N^{\text{кб}}_{\text{раст}} + N_s)(h - y_c - y_p) = (N^{\text{кб}}_{\text{сж}} + N^{\text{пб}}_{\text{сж}})(h - y_c - y_p). \quad (\text{B.15})$$

Усилия в арматуре N_{ys} , обусловленные усадкой бетона ε_{yc} , определяют по формуле

$$N_{ys} = \varepsilon_{yc} A_s. \quad (\text{B.16})$$

Значение усадки ε_{yc} допускается определять по величине потерь предварительного напряжения в соответствии с 9.1.5 и пунктом 8 таблицы 9.1.

Изгибающий момент M_{ps} от усилия в растянутой арматуре $N_{y_{cs}}$, вызванного усадкой бетона, определяют по формуле

$$M_{ps} = -N_{y_{cs}}(h - y_c - a). \quad (\text{B.17})$$

Приложение Г

Расчет по образованию трещин элементов прямоугольного сечения с распределенным по контуру армированием при косом изгибе

Г.1 Расчет по образованию трещин при косом изгибе (при различных углах наклона силовой плоскости к вертикали от 0° до 90°) элементов прямоугольного сечения с произвольным расположением по сечению арматурных стержней выполняют с учетом следующих основных предпосылок:

- эпюру напряжений в растянутой зоне бетона принимают прямоугольной;
- эпюру напряжений в сжатой зоне бетона принимают треугольной;
- распределение напряжений (усилий) в распределенных по контуру сечения арматурных стержнях принимают линейным - согласно гипотезе плоских сечений;
- угол наклона нейтральной линии γ соответствует условию, при котором плоскости действия моментов внешних и внутренних сил параллельны друг другу.

Расчетные формулы получены для трех случаев положения нейтральной линии с учетом нормальных (продольных) растягивающих усилий, вызываемых усадкой легкого бетона.

В общем случае зависимости для определения моментов внутренних сил относительно точки приложения равнодействующих усилий в сжатой зоне бетона, воспринимаемых нормальным к продольной оси элемента сечением при образовании трещин в направлении осей X и Y , имеют следующий вид:

$$M_{crc,x} = N_{bt}(X_{bt} - X_b) + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} |(X_{si} - X_b)| + N(X_N - X_b), \quad (\Gamma.1)$$

$$M_{crc,y} = N_{bt}(Y_{bt} - Y_b) + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} |(Y_{si} - Y_b)| + N(Y_N - Y_b), \quad (\Gamma.2)$$

где X_b и Y_b - координаты точки приложения равнодействующих усилий в сжатой зоне бетона относительно координатных осей Y и X ;

X_{bt} и Y_{bt} - координаты точки приложения равнодействующих растягивающих усилий в бетоне относительно координатных осей Y и X ;

X_P и Y_P - координаты точки приложения усилия от усадки бетона относительно координатных осей Y и X ;

X_{si} и Y_{si} - координаты i -го арматурного стержня;

A_{si} - площадь i -го арматурного стержня.

При нормальном продольном усилии N , соответствующем равнодействующей от растягивающего усилия P , действующего на косоизгибаемый элемент от усадки бетона, зависимости для определения моментов внутренних сил будут иметь вид:

$$M_{crc,x} = N_{bt}(X_{bt} - X_b) + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} |(X_{si} - X_b)| - P(X_P - X_b), \quad (\Gamma.3)$$

$$M_{crc,y} = N_{bt}(Y_{bt} - Y_b) + \sum_{i=1}^n \sigma_{si} A_{si} |(Y_{si} - Y_b)| - P(Y_P - Y_b), \quad (\Gamma.4)$$

где P - равнодействующая усилий в арматурных стержнях от усадки легкого бетона, равная

$$P = \sum_{i=1}^n \sigma_{yc} A_{si} = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{yc} E_s A_{si} .$$

Координаты X_P и Y_P равны:

$$X_P = \frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_{yc} E_s A_{si} X_{si}}{P},$$

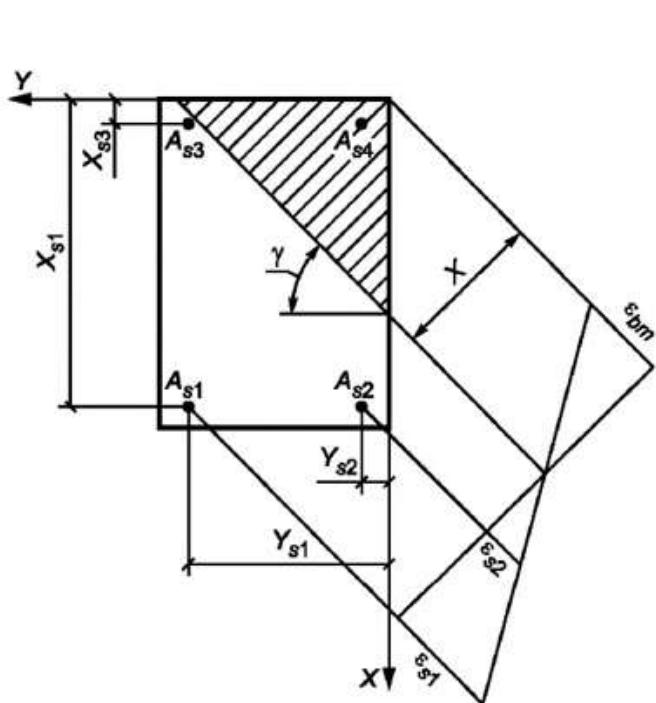
$$Y_P = \frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_{yc} E_s A_{si} Y_{si}}{P},$$

где ε_{yc} - усадочные деформации легкого бетона, определяемые по величине потерь предварительного напряжения в соответствии с 9.1.5 и пунктом 8 таблицы 9.1;

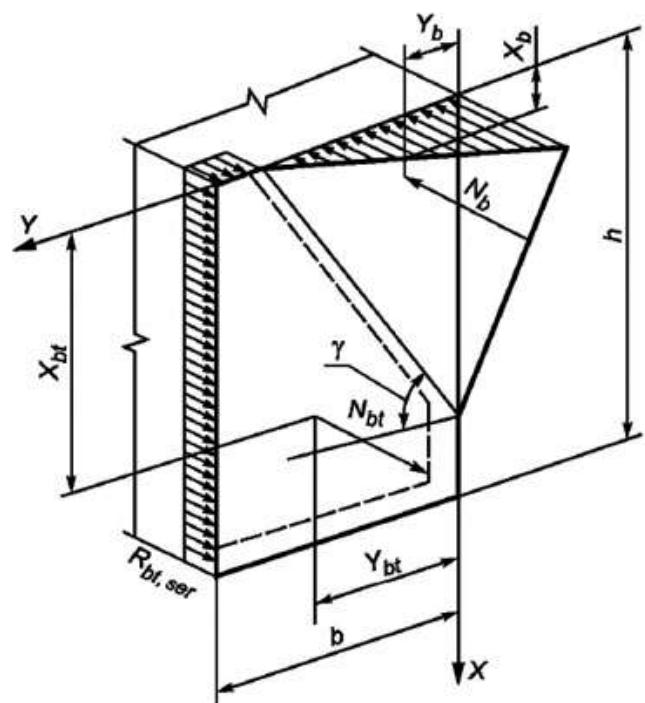
A_{si} - площадь i -го арматурного стержня.

Напряжения σ_{si} в крайнем, наиболее растянутом арматурном стержне N 1 площадью поперечного сечения A_{s1} (рисунок Г.1, а), расположенным с координатами X_{s1} и Y_{s1} , с учетом совместности деформаций с окружающим бетоном равны $\sigma_{s1} = 2\alpha R_{bt,ser}$, где α - коэффициент приведения, равный отношению модулей упругости арматуры и бетона $\alpha = \frac{E_s}{E_b}$.

а)



б)



а - номера арматурных стержней N 1, N 2, N 3, N 4, указанные в тексте, соответствуют площадям поперечного сечения $A_{s1}, A_{s2}, A_{s3}, A_{s4}$; б - стержни не показаны

Рисунок Г.1 - Напряженно-деформированное состояние в поперечном сечении косоизгибающего элемента с треугольной формой сжатой зоны (случай А)

Напряжения σ_{si} в остальных арматурных стержнях, распределенных по контуру поперечного сечения, определяют по линейному закону. В частности, для арматурного стержня N 2 площадью поперечного сечения A_{s2} , расположенного в одной плоскости с арматурным стержнем N 1 с координатами X_{s1} и Y_{s2} , напряжения σ_{s2} для треугольной формы сжатой зоны (рисунок Г.1, а) определяют по следующим зависимостям:

$$\sigma_{s2} = \sigma_{s1} \frac{Y_{s2} \sin \gamma + X_{s1} \cos \gamma - x}{Y_{s1} \sin \gamma + X_{s1} \cos \gamma - x} = 2\alpha R_{bt,ser} \frac{Y_{s2} \sin \gamma + X_{s1} \cos \gamma - x}{Y_{s1} \sin \gamma + X_{s1} \cos \gamma - x}.$$

В арматурном стержне N 3 площадью поперечного сечения A_{s3} , расположенному в одной плоскости с арматурным стержнем N 1 (рисунок Г.1, а) с координатами X_{s3} и Y_{s1} , напряжения σ_{s3} определяют по следующим зависимостям:

$$\sigma_{s3} = \sigma_{s1} \frac{Y_{s1} \sin \gamma + X_{s3} \cos \gamma - x}{Y_{s1} \sin \gamma + X_{s1} \cos \gamma - x} = 2\alpha R_{bt,ser} \frac{Y_{s1} \sin \gamma + X_{s3} \cos \gamma - x}{Y_{s1} \sin \gamma + X_{s1} \cos \gamma - x}.$$

Г.2 Для частного случая А (с треугольной формой сжатой зоны) (рисунок Г.1, б) усилия в сжатой N_b и растянутой N_{bt} зонах бетона будут определяться по формулам

$$N_b = \frac{R_{bt,ser} \cdot x^3}{3 \sin \gamma \cdot \cos \gamma (h \cdot \cos \gamma + b \cdot \sin \gamma - x)}, \quad (\Gamma.5)$$

$$N_{bt} = \frac{R_{bt,ser}}{2 \cos \gamma \cdot \sin \gamma} (2h \cos \gamma \cdot b \sin \gamma - x^2). \quad (\Gamma.6)$$

Высоту сжатой зоны бетона x определяют из уравнения равновесия всех сил на продольную ось элемента, которое после преобразований имеет следующий вид:

$$x^3 - 3(h \cos \gamma + b \sin \gamma)x^2 - b \sin \gamma \cdot \cos \gamma \left(bh - 2\alpha \sum_{i=1}^n A_{si} - \frac{N}{R_{bt,ser}} \right)x + 3 \sin \gamma \cdot \cos \gamma \times \\ \times (h \cos \gamma + b \sin \gamma) \left(\frac{\sum_{i=1}^n A_{si} X_{si} \sin \gamma + \sum_{i=1}^n A_{si} Y_{si} \cos \gamma}{h \cos \gamma + b \sin \gamma} - \frac{N}{R_{bt,ser}} \right) = 0. \quad (\Gamma.7)$$

Координаты точек приложения равнодействующих усилий в сжатой и растянутой зонах бетона определяют по формулам:

$$X_b = \frac{x}{4 \cos \gamma}; \quad Y_b = \frac{x}{4 \sin \gamma}, \\ X_{bt} = \frac{3h \cos \gamma \cdot b^2 \sin^2 \gamma - x^3}{3 \sin \gamma (2h \cos \gamma \cdot b \sin \gamma - x^2)}, \\ Y_{bt} = \frac{3b \sin \gamma \cdot h^2 \cos^2 \gamma - x^3}{3 \cos \gamma (2h \cos \gamma \cdot b \sin \gamma - x^2)}.$$

Г.3 Для частного случая Б (сжатой зоны в форме "короткой" трапеции*) (рисунок Г.2) усилия в сжатой N_b и растянутой N_{bt} зонах бетона определяют по формулам:

* "Короткая" трапеция - трапеция, высота которой соответствует ширине поперечного прямоугольного сечения элемента (см. рисунок Г.2).

$$N_b = \frac{b \cdot R_{bt,ser} (3x^2 - 3xb \sin \gamma + b^2 \cdot \sin^2 \gamma)}{3 \cos \gamma (h \cdot \cos \gamma + b \cdot \sin \gamma - x)}, \quad (\Gamma.8)$$

$$N_{bt} = \frac{b \cdot R_{bt,ser}}{2 \cos \gamma} (2h \cos \gamma - 2x + b \sin \gamma) \quad (\Gamma.9)$$

Координаты точек приложения равнодействующих усилий в сжатой и растянутой зонах бетона определяют по следующим зависимостям:

$$\begin{aligned} X_b &= \frac{x^4 - (x - b \sin \gamma)^4}{4 \cos \gamma [x^3 - (x - b \sin \gamma)^3]}, \\ Y_b &= \frac{x^4 - (x - b \sin \gamma)^3 (x + 3b \sin \gamma)}{4 \sin \gamma [x^3 - (x - b \sin \gamma)^3]}, \\ X_{bt} &= \frac{1}{3 \cos \gamma} \frac{3h^2 \cos^2 \gamma - 3x^2 + 3xb \sin \gamma - b^2 \sin^2 \gamma}{2h \cos \gamma - 2x + b \sin \gamma}, \\ Y_{bt} &= \frac{b}{3} \frac{3h \cos \gamma - 3x + 2b \sin \gamma}{2h \cos \gamma - 2x + b \sin \gamma}. \end{aligned}$$

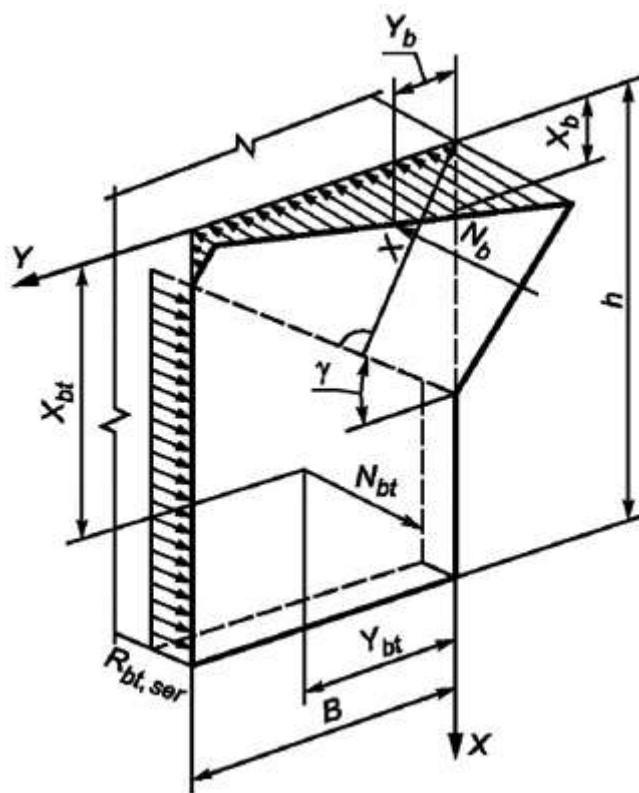


Рисунок Г.2 - Напряженно-деформированное состояние в поперечном сечении элемента со сжатой зоной в форме "короткой" трапеции (случай Б)

Г.4 Для частного случая В (сжатой зоны в форме "удлиненной" трапеции*) (рисунок Г.3) усилия в сжатой N_b и растянутой N_{bt} зонах бетона определяют по формулам:

* "Удлиненная" трапеция - трапеция, высота которой расположена вдоль боковой грани поперечного сечения элемента (см. рисунок Г.3).

$$N_b = \frac{h \cdot R_{bt,ser}}{3 \sin \gamma} \frac{3x^2 - 3xh \cos \gamma + h^2 \cos^2 \gamma}{b \cdot \sin \gamma + h \cos \gamma - x}, \quad (\Gamma.10)$$

$$N_{bt} = \frac{h \cdot R_{bt,ser}}{2 \sin \gamma} (2b \sin \gamma - 2x + h \cos \gamma). \quad (\Gamma.11)$$

Координаты точек приложения равнодействующих усилий в сжатой и растянутой зонах бетона определяют по следующим зависимостям:

$$X_b = \frac{x^4 - (x - h \cos \gamma)^3 (x + 3h \cos \gamma)}{4 \cos \gamma [x^2 - (x - h \cos \gamma)^3]},$$

$$Y_b = \frac{x^4 - (x - h \cos \gamma)^4}{4 \sin \gamma [x^3 - (x - h \cos \gamma)^3]},$$

$$Y_{bt} = \frac{1}{3 \sin \gamma} \frac{3b^2 \sin^2 \gamma - 3x^2 + 3xh \cos \gamma - h^2 \cos^2 \gamma}{2b \sin \gamma - 2x + h \cos \gamma},$$

$$X_{bt} = \frac{h}{3} \frac{3b \sin \gamma - 3x + 2h \cos \gamma}{2b \sin \gamma - 2x + h \cos \gamma}.$$

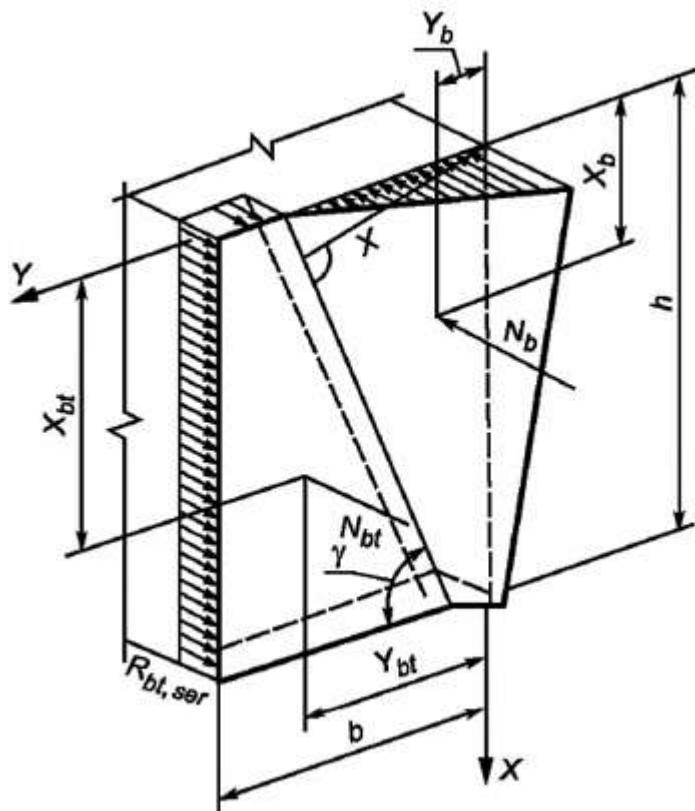


Рисунок Г.3 - Напряженно-деформированное состояние в поперечном сечении элемента со сжатой зоной в форме "удлиненной" трапеции (случай В)
Высоту сжатой зоны бетона x для случая Б определяют по формуле

$$x = \frac{\frac{b}{2}(2h^2 \cos \gamma + 3hb \sin \gamma) + \frac{b^3}{6} \operatorname{tg} \gamma \sin \gamma + 2\alpha(\sum_{i=1}^n A_{si} X_{si} \sin \gamma + \sum_{i=1}^n A_{si} Y_{si} \cos \gamma) - \frac{N}{R_{bt,ser}}(b \sin \gamma + h \cos \gamma)}{2bh + \frac{b^2}{2} \operatorname{tg} \gamma + 2\alpha \sum_{i=1}^n A_{si} - \frac{N}{R_{bt,ser}}} . \quad (\Gamma.12)$$

Высоту сжатой зоны бетона x для случая В определяют по формуле

$$x = \frac{\frac{h}{2}(2b^2 \sin \gamma + 3bh \cos \gamma) + \frac{h^3}{6} \operatorname{ctg} \gamma \cos \gamma + 2\alpha(\sum_{i=1}^n A_{si} X_{si} \sin \gamma + \sum_{i=1}^n A_{si} Y_{si} \cos \gamma) - \frac{N}{R_{bt,ser}}(h \cos \gamma + b \sin \gamma)}{2hb + \frac{h^2}{2} \operatorname{ctg} \gamma + 2\alpha \sum_{i=1}^n A_{si} - \frac{N}{R_{bt,ser}}} . \quad (\Gamma.13)$$

Приложение Д

Расчет по жесткости (деформациям) при косом изгибе элементов прямоугольного сечения с распределенным по контуру армированием в стадии работы их с трещинами

Д.1 Расчет по жесткости (деформациям) при косом изгибе элементов прямоугольного сечения с распределенным по контуру армированием в стадии работы их с трещинами выполняют с учетом следующих основных предпосылок:

- форму эпюры напряжений в бетоне сжатой зоны принимают прямоугольной;

- фактическую (треугольную или трапециевидную) сжатую зону заменяют эквивалентной, прямоугольной той же высоты из условия равенства упругопластических моментов сопротивления по сжатой зоне (рисунок Д.1);

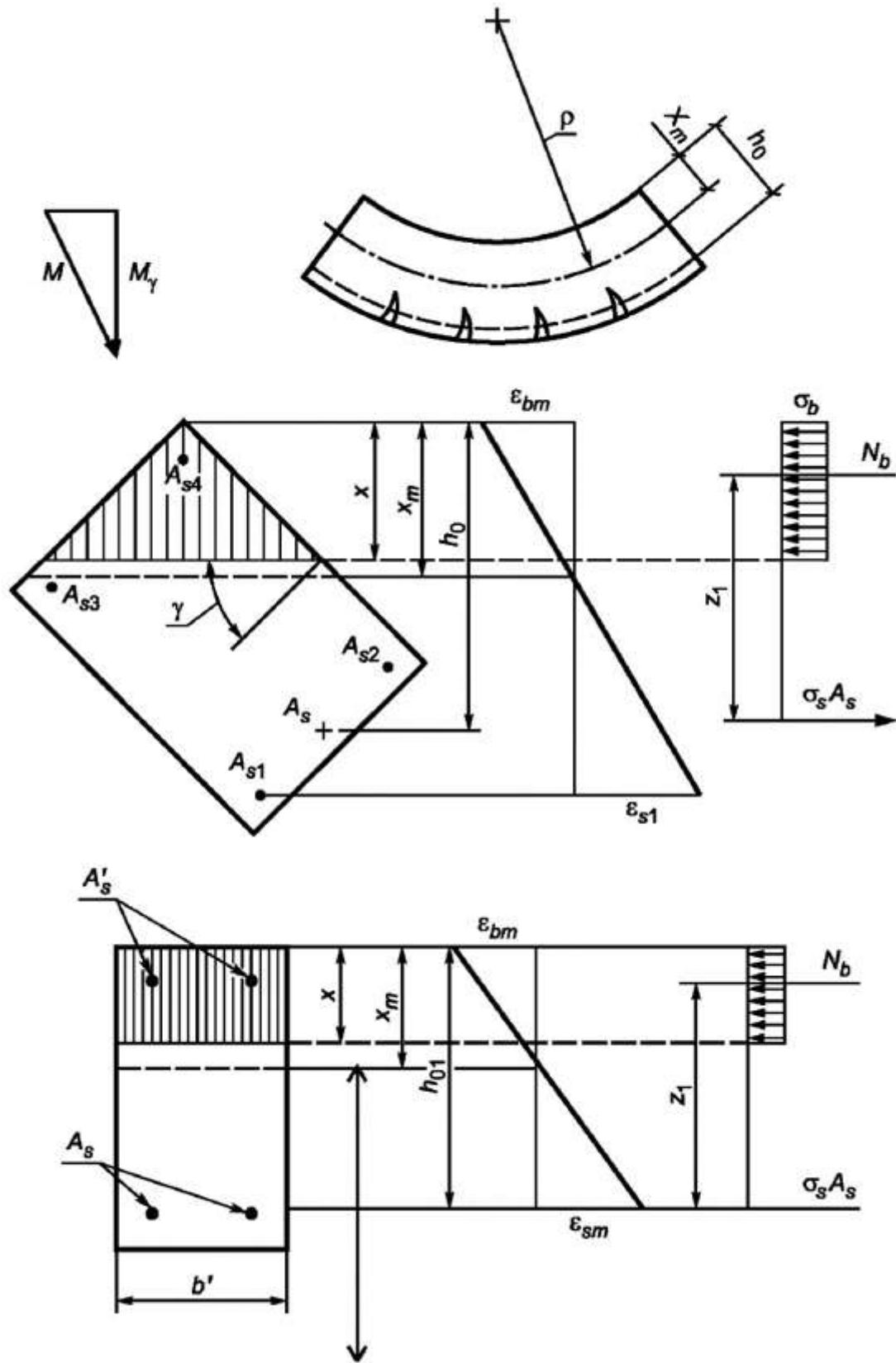


Рисунок Д.1 - Напряженно-деформированное состояние элементов при косом и плоском изгибе

- коэффициент ν , учитывающий принятую в расчете прямоугольную форму эпюры напряжений в сжатой зоне и упругопластические деформации сжатого бетона, определяют в зависимости от коэффициента ω^* при фактической форме сжатой зоны (треугольной или трапециевидной);

* Коэффициент ω (или коэффициент полноты эпюры напряжений) определяется отношением фактической

площади эпюры напряжений к площади эпюры, принятой в расчете (в данном случае - прямоугольной).

- коэффициент Ψ_s , учитывающий работу растянутого бетона между трещинами и неравномерное распределение деформаций растянутой арматуры в сечении с трещиной и между трещинами, определяют по формулам для плоского изгиба с учетом моментов при образовании трещин, определенных из расчета на косой изгиб согласно приложению Г;

- коэффициент Ψ_b , учитывающий неравномерное распределение деформаций крайнего сжатого волокна бетона по длине участка трещинами, принимают таким же, как и при плоском изгибе;

- угол наклона нейтральной оси γ определяют из расчета по образованию трещин согласно приложению Г и принимают постоянным для всех уровней загружения в стадии работы с трещинами.

Д.2 Кривизну в направлении, перпендикулярном нейтральной линии, определяют по формуле

$$\frac{1}{r} = \frac{M_\gamma}{h_0 Z_1} \left[\frac{\Psi_s}{E_s A_s} + \frac{\Psi_b}{E_b A_b v} \right], \quad (\text{Д.1})$$

где M_γ - проекция внешнего изгибающего момента на ось, перпендикулярную нейтральной линии;

h_0 - рабочая высота сечения (проекция расстояния от наиболее сжатого ребра бетона до точки приложения равнодействующих усилий в растянутой арматуре на ось, перпендикулярную нейтральной линии);

Z_1 - плечо внутренней пары сил, проекция расстояния от точки приложения равнодействующих усилий в растянутой арматуре до точки приложения равнодействующих усилий в сжатой зоне бетона;

Ψ_s , Ψ_b - коэффициенты, учитывающие соответственно работу растянутого бетона и неравномерность распределения деформаций крайнего сжатого волокна бетона по длине участка трещинами;

v - коэффициент, характеризующий упругопластическое состояние бетона сжатой зоны и принятую форму эпюры сжимающих напряжений;

A_b - площадь сжатой зоны высотой x ;

A_s - площадь всей дискретно расположенной растянутой арматуры;

E_b - модуль упругости легкого бетона;

E_s - модуль упругости арматуры.

Коэффициент Ψ_s в формуле (Д.1) для элементов из легкого бетона определяют по формуле

$$\Psi_s = 1,25 - 1,1 \frac{M_{crc}}{M_\gamma}, \quad (\text{Д.2})$$

где M_{crc} - момент при образовании трещин, определяемый по формуле

$$M_{crc} = M_{crc,x} + M_{crc,y},$$

в которой моменты $M_{crc,x}$ и $M_{crc,y}$ определяют по формулам (Г.3) и (Г.4) приложения Г.

Коэффициент Ψ_s , определяемый по формуле (Д.2), следует увеличивать для изгибаемых элементов из

легкого бетона на литоидной пемзе со стеклопластиковой арматурой на 10%.

Относительную высоту сжатой зоны определяют по формуле

$$\xi = \frac{1}{1,8 + \frac{1+5\delta}{10\mu\alpha}}. \quad (\text{Д.3})$$

Здесь δ - коэффициент, определяемый по формуле

$$\delta = \frac{M_\gamma}{b' R_{b,ser} h_0^2},$$

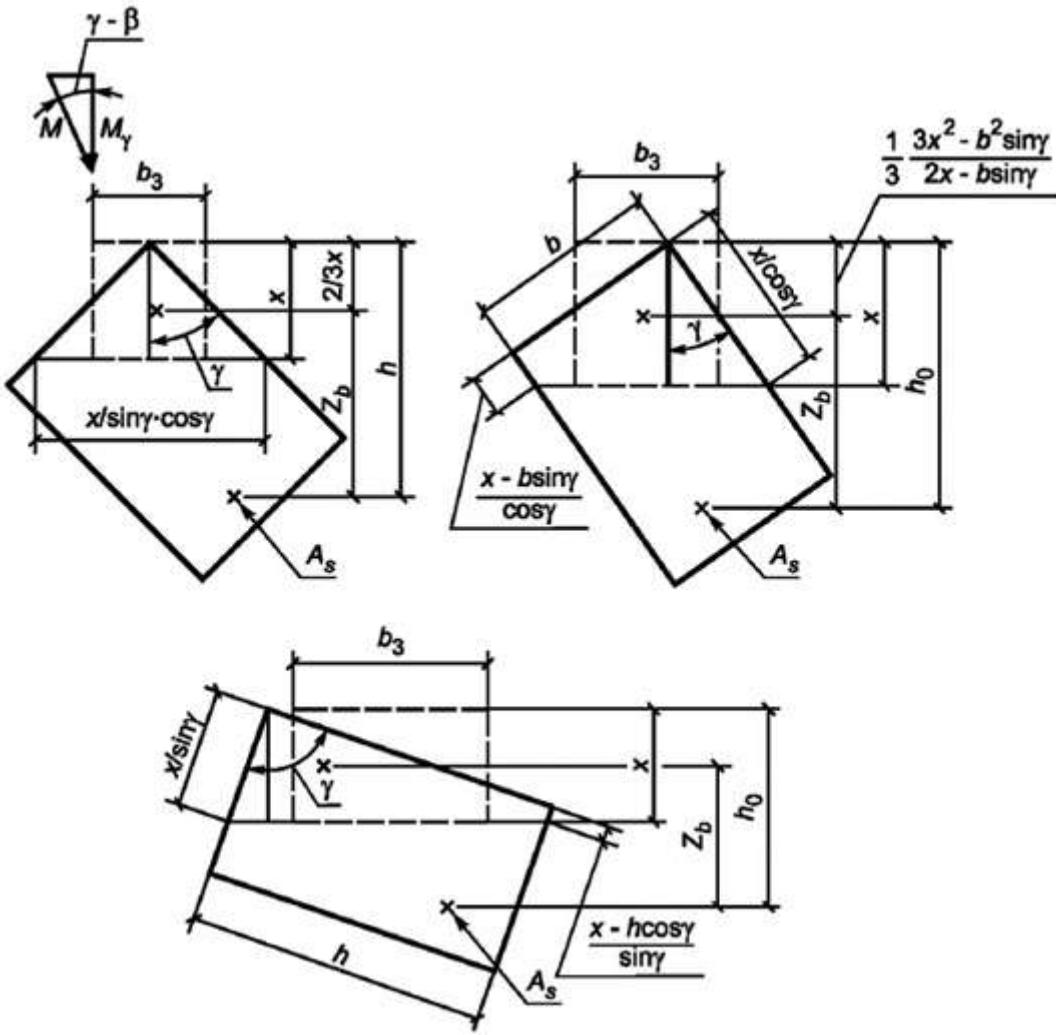
где $b' = b_3$ - приведенная ширина заменяющего прямоугольника, определяется из равенства упругопластических моментов сопротивления по сжатой зоне высотой x при фактической и заменяющей ее прямоугольной (шириной $b' = b_3$) форме (рисунок Д.2).

Приведенную ширину сжатой зоны бетона $b' = b_3$ при ее треугольной форме определяют по формуле

$$b' = b_3 = \frac{1}{2 \sin \gamma \cdot \cos \gamma} \frac{\xi h_0}{\left(1 - \frac{1}{2} \xi\right)} \left(1 - \frac{2}{3} \xi\right) \quad (\text{Д.4})$$

а при трапециевидной форме

$$b' = b_3 = \frac{b}{\cos \gamma} \frac{\left(\xi - \frac{b \sin \gamma}{2 h_0}\right) \left(1 - \frac{1}{3} \frac{3\xi^2 - b^2 \sin^2 \gamma / h_0^2}{2\xi - b \sin \gamma / h_0}\right)}{\xi \left(1 - \frac{1}{2} \xi\right)}. \quad (\text{Д.5})$$



β - угол наклона силовой плоскости; γ - угол наклона нейтральной линии; b_3 - ширина заменяющего прямоугольника

Рисунок Д.2 - Различные случаи положения нейтральной оси при косом изгибе

Д.3 Относительную высоту сжатой зоны $\xi = x / h_0$ определяют по формулам, соответствующим различным формам сжатой зоны.

При треугольной форме сжатой зоны относительную высоту ξ определяют из решения уравнения

$$k_1 \xi^3 + k_2 \xi^2 + k_3 \xi + k_4 = 0, \quad (\text{Д.6})$$

где коэффициенты k_1, k_2, k_3, k_4 определяют по следующим зависимостям:

$$k_1 = -\frac{1}{3} h_0^2, \quad (\text{Д.7})$$

$$k_2 = \frac{1}{2} h_0^2 - \frac{5}{2} \frac{\sin \gamma \cdot \cos \gamma}{h_0} \frac{M_\gamma}{R_{b,ser}} - 9 A_s \alpha \sin \gamma \cdot \cos \gamma, \quad (\text{Д.8})$$

$$k_3 = 23 A_s \alpha \sin \gamma \cdot \cos \gamma + 5 \frac{\sin \gamma \cdot \cos \gamma}{h_0} \frac{M_\gamma}{R_{b,ser}}, \quad (\text{Д.9})$$

$$k_4 = -10 A_s \alpha \sin \gamma \cdot \cos \gamma. \quad (\text{Д.10})$$

При трапециевидной форме сжатой зоны относительную высоту ξ определяют из решения уравнения

$$k_1 \xi^2 + k_2 \xi + k_3 = 0, \quad (\text{Д.11})$$

где коэффициенты k_1, k_2, k_3 определяют по следующим зависимостям:

$$k_1 = -\left(9A_s \alpha \cos \gamma + h_0 b / 2 + 5 \cos \gamma \frac{M_\gamma}{2h_0 R_{b,ser}} \right), \quad (\text{Д.12})$$

$$k_2 = 23A_s \alpha \cos \gamma + h_0 b + \cos \gamma \frac{M_\gamma}{h_0 \cdot R_{b,ser}}, \quad (\text{Д.13})$$

$$k_3 = b^3 \sin^2 \gamma / 6h_0 - b^2 \sin \gamma / 2 - 10A_s \alpha \cos \gamma. \quad (\text{Д.14})$$

В приведенных зависимостях (Д.7)-(Д.14), определяющих коэффициенты k_1, k_2, k_3, k_4 , γ - угол наклона нейтральной оси к горизонтали (рисунки Г.1, Г.2, Г.3) или угол между боковой стороной и линией, перпендикулярной нейтральной оси (рисунок Д.2).

Д.4 Значение коэффициента v зависит от формы сжатой зоны и определяется в зависимости от коэффициента ω^* по следующим формулам:

* См. сноска в Д.1.

- для прямоугольной формы сжатой зоны

$$v = \bar{v}\omega = 0,9 \cdot 0,5 = 0,45;$$

- для треугольной

$$v = \bar{v}\omega = 0,9 \cdot 0,33 = 0,3;$$

- для трапециевидной:

а) типа "короткой" трапеции (рисунок Г.2)

$$v = \bar{v}\omega = 0,9\omega = \frac{0,3[x^2 - (x - b \sin \gamma)^3]}{x[x^2 - (x - b \sin \gamma)^2]};$$

б) типа "удлиненной" трапеции (рисунок Г.3)

$$v = \bar{v}\omega = 0,9\omega = \frac{0,3[x^2 - (x - h \cos \gamma)^3]}{x[x^2 - (x - h \cos \gamma)^2]}. \quad (\text{Д.15})$$

Кривизну железобетонных элементов при косом изгибе с многорядным расположением арматуры по сечению определяют из системы уравнений

$$\begin{cases} M = D_{11} \frac{1}{r} + D_{12} \varepsilon_0 \\ M = D_{12} \frac{1}{r} + D_{22} \varepsilon_0 \end{cases}, \quad (\text{Д.15})$$

где

$$D_{11} = \sum_{i=1}^n \frac{E_{si}}{\Psi_{si}} A_{si} z_{si}^2 + \sum_{j=1}^k \frac{E_{sj}}{\Psi_{sj}} A'_{sj} z_{sj}^2 + (\varphi_f + \xi_l) \frac{bh_0 E_b \tilde{v}}{\Psi_b} z_b^2; \quad (\text{Д.16})$$

$$D_{12} = \sum_{i=1}^n \frac{E_{si}}{\Psi_{si}} A_{si} z_{si} + \sum_{j=1}^k \frac{E_{sj}}{\Psi_{sj}} A'_{sj} z_{sj} + (\varphi_f + \xi_l) \frac{bh_0 E_b \tilde{v}}{\Psi_b} z_b; \quad (\text{Д.17})$$

$$D_{22} = \sum_{i=1}^n \frac{E_{si}}{\Psi_{si}} A_{si} + \sum_{j=1}^k E_{sj} A'_{sj} + (\varphi_f + \xi_1) \frac{bh_0 E_b \tilde{\nu}}{\Psi_b}. \quad (\text{Д.18})$$

В формулах (Д.16)-(Д.18):

$$\tilde{\nu} = 2\nu;$$

i - порядковый номер стержня продольной растянутой арматуры;

j - то же, сжатой арматуры;

ξ_1 - относительная высота сжатой зоны сечения, равная $\frac{x}{h_{01}}$, определяемая без учета сжатой арматуры из уравнений (Д.6) и (Д.11). При этом значение угла наклона нейтральной линии γ определяют из расчета по образованию трещин согласно приложению Г;

z_{si} , z_{sj} - расстояния от центра тяжести i -й и j -й арматуры до оси Y ;

z_b - расстояния от центра тяжести сжатой зоны сечения до оси Y .

Принимают, что ось Y располагается в пределах рабочей высоты сечения на расстоянии 1,3 x от наиболее сжатой грани бетона. Тогда значения z_{si} будут с положительным, а z_{sj} и z_b - с отрицательным знаком.

При определении ξ_1 рабочую высоту сечения h_0 принимают равной h_{01} (рисунок Д.1), а суммарную площадь поперечного сечения продольной растянутой арматуры (для определения коэффициента армирования μ) определяют по формуле

$$A_s = \sum_{i=1}^n A_{si} \frac{h_{0i} - 1,3x}{h_{01} - 1,3x}. \quad (\text{Д.19})$$

При этом коэффициент ψ_s следует определять по формуле

$$\psi_s = 1,25 - 1,1 \frac{M_{crc}}{M_\gamma} \frac{h_{01}}{h_{0i}}. \quad (\text{Д.20})$$

Так как при определении относительной высоты сжатой зоны коэффициент армирования, определяемый в зависимости от высоты сжатой зоны, заранее неизвестен, то значение ξ_1 вычисляют итерационным подбором, который можно выполнить с помощью вычислительный программы".

Ключевые слова. Исключить слова: ", классификация, технические требования, правила приемки, методы контроля".