**Министерство строительства
и жилищно-коммунального хозяйства
Российской Федерации**

Федеральное автономное учреждение «Федеральный центр нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве»

Методическое пособие

ИНСТРУКЦИЯ ПО РАСЧЕТУ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ТЯЖЕЛЫХ БЕТОНОВ КЛАССОВ В60-В90 И МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ КЛАССОВ В50-В90

Москва 2015

gost.e-ecolog.ru

Методическое пособие разработано следующим авторским коллективом: лаборатория проблем прочности и качества в строительстве НИИСФ РААСН – д.т.н., проф. Н.И. Карпенко (разделы 1–7), д.т.н. С.Н. Карпенко (разделы 4–7), к.т.н. И.Г. Чепизубов (разделы 1–3); лаборатория химических добавок и модифицированных бетонов НИИЖБ – д.т.н. С.С. Каприелов (разделы 1, 2, 4, 8).

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 5
1. Область применения 5
2. Общие положения 6
3. Общие принципы проектирования и расчета железобетонных конструкций из высокопрочных тяжелых и мелкозернистых бетонов 10
4. Определение физико-механических и реологических (усадка, ползучесть) характеристик высокопрочных бетонов 10
4.1. Общие положения 10
4.2. Нормативные сопротивления бетона 12
4.3. Расчетные сопротивления бетона 13
4.4. Кратковременные деформационные характеристики бетона 14
4.5. Диаграммы состояния бетона 14
4.6. Учет деформаций ползучести 18
4.7. Учет усадки бетона 22
4.8. Общие требования к арматуре 24
4.9. Диаграммы состояния арматуры 25
5. Особенности расчета железобетонных конструкций из высокопрочных бетонов по двум группам предельных состояний 28
5.1. Общие положения 28
5.2. Общие условия нелинейной диаграммной модели 28
5.3. Основные уравнения деформационной диаграммной модели 30
5.4. Расчет конструкций по прочности (по первой группе предельных состояний) 34
5.5. Расчет деформаций, перемещений и напряжений конструкций на длительное действие нагрузки (по второй группе предельных состояний) 36
5.6. Расчет приращений деформаций, перемещений и напряжений конструкций на действие кратковременной нагрузки (по второй групп предельных состояний) 37
5.7. Определение полных деформаций, перемещений и напряжений от действия кратковременной и длительной нагрузки 37
5.8. Учет деформаций усадки 37
6. Общие критерии прочности железобетонных плоских и оболочечных элементов при совместном действии изгибающих и крутящих моментов, нормальных и касательных сил 38
6.1. Общие положения 38
6.2. Критерии прочности для схем разрушения «Н» 44
6.3. Критерии прочности для схем разрушения «В» 47
6.4. Критерии прочности для случая 1В 48
6.5. Критерии прочности для случая 2В 50
6.6. Критерии прочности элементов для схем разрушения «НВ» 51

6.7. Критерии прочности элементов для схемы разрушения «С» 53
6.8. Критерий прочности элементов для схемы «С» в случае 1 53
6.9. Критерии прочности для схемы «С» в случае 2 55
7. Дополнительные рекомендации по конструированию 57
7.1. Требования к поперечному и продольному армированию 57
7.2. Требования к соединениям арматуры внахлест и их расположению 57
7.3. Требования к механическим соединениям арматуры и их расположению 59
8. Требования к материалам для производства бетонных смесей тяжелых и мелкозернистых модифицированных бетонов классов В50-В100 . . . 60
Приложение. Основные понятия, термины и определения 62
Приложение. Перечень нормативной документации 64

Введение

Данное методическое пособие «Инструкция по расчету и проектированию конструкций из высокопрочных тяжелых бетонов классов В60-В90 и мелкозернистых бетонов классов В50 до В90» (далее – Методическое пособие) разработано в развитие положений «СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003» и призвано учесть результаты развития новых более эффективных видов высокопрочных модифицированных бетонов, изменение их физико-механических и реологических характеристик, а также развитие более совершенных методов расчета и проектирования.

1. Область применения

Действие настоящего Методического пособия распространяется на проектирование и возведение монолитных железобетонных конструкций надземных и подземных сооружений с применением тяжелых модифицированных бетонов классов по прочности от В60 до В90 включительно и мелкозернистых бетонов классов по прочности на сжатие от В50 до В90, марок по морозостойкости F200-F1000 (ГОСТ 10060.0-95) и марок по водонепроницаемости W12-W20 (ГОСТ 12730.5-84), приготовленных из подвижных (марок по удобоукладываемости П3-П5) бетонных смесей.

Методическое пособие предназначено для расчета несущих конструкций высотных зданий и зданий повышенной этажности, высоконагруженных зданий, выполненных с применением высокопрочных бетонов классов В50-В90.

В Методическое пособие включен раздел по расчету прочности плоских и оболочечных элементов в общем случае совместного действия изгибающих и крутящих моментов, нормальных и касательных сил, т.к. конструкции из таких элементов находят широкое применение в современном монолитном в строительстве.

2. Общие положения

Методическое пособие содержит дополнения к СП 63.13330.2012 в части прочностных и деформативных свойств тяжелых и мелкозернистых модифицированных высокопрочных бетонов, а также к расчету железобетонных конструкций из модифицированных высокопрочных бетонов. Необходимость дополнений связана с недостаточной информацией о свойствах новых более эффективных видов высокопрочных модифицированных бетонов и изменениях их физико-механических и реологических характеристик, а также с развитием более совершенных методов расчета и проектирования конструкций из новых бетонов.

Данное Методическое пособие распространяется на тяжелые и мелкозернистые бетоны и содержит информацию о характеристиках высокопрочных бетонов, в дополнение к приведенным в СП 63.13330.2012 характеристикам тяжелых бетонов классов В60-В90 и мелкозернистых бетонов классов В50-В90.

Данное Методическое пособие распространяется на конструкции, подвергающиеся различным видам статических нагрузок.

Настоящее Методическое пособие следует применять совместно со СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003», а также с нормативными документами:

СП 20.13330.2011 «СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия»;

СП 22.13330.2011 «СНиП 2.02.01-83* Основания зданий и сооружений»;

СП 28.13330.2012 «СНиП 2.03.11-85 «Защита строительных конструкций от коррозии»;

СП 70.13330.2012 «СНиП 3.03.01-87 «Несущие и ограждающие конструкции»;

СП 122.13330.2012 «СНиП 32-04-97 Тонели железнодорожные и автодорожные»;

СП 131.13330.2012 «СНиП 23-01-99 Строительная климатология» и другими нормативными документами (СП);

ГОСТ 26633-2011 Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия;

ГОСТ 24211-2008 Добавки для бетонов. Общие технические условия.

ГОСТ Р 56178-2014 Модификаторы органо-минеральные типа МБ для бетонов, строительных растворов и сухих смесей. Технические условия;

ГОСТ 31914-2012 Бетоны высокопрочные тяжелые и мелкозернистые для монолитных конструкций. Правила контроля и оценки качества.

3. Общие принципы проектирования и расчета железобетонных конструкций из высокопрочных тяжелых и мелкозернистых бетонов

Для обеспечения нормального функционирования железобетонных конструкций из тяжелых и мелкозернистых модифицированных бетонов (сокращенно – тяжелых бетонов) классов В50-В90 в условиях эксплуатации в течение установленного срока службы зданий и сооружений железобетонные конструкции должны удовлетворять требованиям безопасности (по несущей способности), эксплуатационной пригодности, долговечности. Железобетонные конструкции также должны удовлетворять требованиям по несущей способности в процессе возведения.

Для удовлетворения требования безопасности железобетонные конструкции из тяжелых и мелкозернистых модифицированных бетонов классов В50-В90 должны иметь такие характеристики, которые с надлежащей степенью надежности предотвратят разрушение конструкций при различных воздействиях.

Для удовлетворения требования эксплуатационной пригодности железобетонные конструкции из тяжелых и мелкозернистых модифицированных бетонов классов В50-В90 должны иметь такие характеристики, которые с надлежащей степенью надежности при различных воздействиях предотвратят образование или чрезмерное раскрытие трещин, а также чрезмерные деформации, препятствующие нормальной эксплуатации (нарушение требований по охране здоровья людей и окружающей среды, требований к внешнему виду конструкции, технологических требований по нормальной работе оборудования и механизмов, конструктивных требований по совместной работе элементов и т. д.).

Для удовлетворения требований долговечности железобетонные конструкции из модифицированных бетонов классов В50-В90 должны иметь такие начальные

характеристики, которые с надлежащей степенью надежности в течение установленного длительного времени (заданного срока службы) конструкции удовлетворяли бы требованиям безопасности и эксплуатационной пригодности при различных воздействиях.

При проектировании железобетонных конструкций должны быть установлены вид и показатели качества бетона и арматуры с соответствующими их значениями.

Нагрузки и воздействия, срок эксплуатации (службы) сооружений, предел огнестойкости и способы защиты конструкций от коррозии железобетонных конструкций надземных и подземных сооружений устанавливаются соответствующими нормативными документами.

Расчеты железобетонных конструкций необходимо, как правило, производить с учетом возможного образования трещин, неупругих и длительных деформаций в бетоне и арматуре.

Определение усилий и деформаций от различных воздействий в конструкциях и в образуемых ими системах зданий и сооружений следует производить по общим правилам строительной механики, как правило, с учетом их совместной работы, физической и геометрической нелинейности работы конструкций в системе.

Расчеты железобетонных конструкций в общем случае следует производить для двух стадий работы конструкций, связанных с состоянием бетона:

I. До приобретения бетоном в конструкции требуемой прочности – на воздействие массы этого бетона и технологических нагрузок на этапе возведения конструкции.

II. После приобретения бетоном в конструкции требуемой прочности – на воздействие как технологических, так и эксплуатационных нагрузок.

Рассчитывать железобетонную конструкцию следует на действие изгибающих моментов, продольных и поперечных сил и крутящих моментов, возникающих в конструкциях от различных воздействий, а также на действие местной нагрузки.

Расположение температурно-усадочных швов и границ захваток (технологических швов) при бетонировании в проектируемых конструкциях должно назначаться по расчету. Это связано с необходимостью обеспечить термическую

трещиностойкость при перепадах температуры окружающей среды и в конструкциях.

Расчеты железобетонных конструкций следует производить по методу предельных состояний, включающему:

- предельные состояния первой группы (по пригодности к эксплуатации без потери несущей способности);
- предельные состояния второй группы (по пригодности к нормальной эксплуатации без образования или чрезмерного раскрытия трещин, появления недопустимых деформаций и др.).

Расчеты по предельным состояниям первой группы должны включать расчеты по прочности.

Расчеты по предельным состояниям второй группы должны включать расчеты по образованию и раскрытию трещин и по деформациям.

С необходимой надежностью расчеты должны гарантировать от наступления предельных состояний конструкций.

Кроме того, в необходимых случаях по соответствующим нормативным документам следует производить расчеты по огнестойкости, теплопроводности, звукоизоляции, обеспечивающие нормальные условия жизнедеятельности.

При проектировании железобетонных конструкций из тяжелых и мелкозернистых модифицированных бетонов классов В50-В90 надежность конструкций устанавливают полувероятностным методом расчета путем использования расчетных значений нагрузок и воздействий, расчетных характеристик бетона и арматуры, определяемых с помощью частных коэффициентов надежности по нормативным значениям этих характеристик, с учетом уровня ответственности здания или сооружения.

Нормативные значения нагрузок и воздействий, значения коэффициентов надежности по нагрузке, а также коэффициентов надежности по ответственности конструкций устанавливают соответствующие нормативные документы для строительных конструкций.

Расчетные значения нагрузок и воздействий принимают в зависимости от вида расчетного предельного состояния и расчетных ситуаций.

Нормативные значения характеристик материалов определяют с учетом изменчивости свойств материалов.

Уровень надежности расчетных значений характеристик материалов устанавливают в зависимости от опасности достижения соответствующего предельного состояния и регулируют значением коэффициента надежности по бетону и арматуре.

Расчет железобетонных конструкций из тяжелых и мелкозернистых модифицированных бетонов классов В50-В90 можно производить по заданному значению надежности на основе полного вероятностного расчета с учетом изменчивости основных факторов, входящих в расчетные зависимости.

При проектировании железобетонных конструкций необходимо обеспечить конструктивные требования по геометрическим параметрам элементов конструкций, по армированию и по защите конструкций от неблагоприятного воздействия среды эксплуатации.

4. Определение физико-механических и реологических (усадка, ползучесть) характеристик высокопрочных бетонов

4.1. Общие требования к бетону

4.1.1. Для железобетонных конструкций, проектируемых в соответствии с требованиями настоящим Методическим пособием, следует предусматривать конструкционные бетоны, соответствующие ГОСТ.

Смеси для бетонов классов В50-В90 должны соответствовать ГОСТ 7473-2010 со следующими уточнениями.

В качестве вяжущих применяются портландцементы марок ЦЕМI52,5Н и ЦЕМ II 52,5Н, соответствующие ГОСТ 31108-2003, ПЦ 500-Д0-Н и ПЦ 500-Д20-Н, соответствующие ГОСТ 10178-85, содержащие в своем составе C_3A не более 8 %, имеющие показатель нормальной густотой цементного теста не выше 25 %.

Предельный расход цемента в тяжелых бетонах должен быть не более 550 кг/м^3, а в мелкозернистых – не более 700 кг/м^3.

В качестве добавок применяются следующие материалы.

Минеральные добавки, соответствующие ГОСТ Р 56592-2015:

- микрокремнезем (ТУ 5743-048-02495332-96);
- метакаолин (ТУ 5870-176-46854090-94);
- золы уноса (ГОСТ 25818).

Химические добавки, соответствующие (ГОСТ 24211-2008):

- суперпластификаторы;
- регуляторы твердения;
- регуляторы структуры.

Органо-минеральные модификаторы бетона типа МБ, соответствующие ГОСТ Р 56592-2015:

МБ-01 (ТУ 5743-073-46854090-98);

МБ-С (ТУ 5743-083-46854090-98);

Эмбэлит (ТУ 5870-176-46854090-04).

4.1.2. Тяжелые и мелкозернистые модифицированные бетоны классов В50-В90 по физико-техническим свойствам должны отвечать требованиям ГОСТ 26663-2012 и данным, приведенным в настоящей Методическом пособии.

Основными показателями качества бетона являются:

- класс по прочности на сжатие (В);
- класс по прочности на осевое растяжение (B_t)
- марка по морозостойкости (F);
- марка по водонепроницаемости (W).

4.1.3. Для бетонных и железобетонных конструкций, проектируемых в соответствии с требованиями настоящим Методическим пособием, следует предусматривать конструкционные модифицированные бетоны классов В50-В90:

- тяжелые со средней нормативной плотностью 2320-2500 кг/м^3;
- мелкозернистые со средней нормативной плотностью 2100-2300 кг/м^3.

4.1.4. Для бетонных и железобетонных конструкций из тяжелых и мелкозернистых модифицированных бетонов следует предусматривать бетоны

следующих классов и марок:

- *классов по прочности на сжатие*:

тяжелый и мелкозернистый – B50, B60, B70; B80; B90

- *классов прочности на осевое растяжение*:

тяжелый и мелкозернистый – $B_t2{,}8$; $B_t3{,}2$; $B_t3{,}6$; $B_t3{,}8$; $B_t4{,}0$;

- *марок по морозостойкости*:

тяжелый и мелкозернистый – F 200; F 300; F 400; F 500; F 600; F 700; F 800; F 900; F 1000

- *марок по водонепроницаемости*:

тяжелый и мелкозернистый – W12; W14; W16; W18; W20

4.1. Нормативные сопротивления бетона

4.2.1. Основными прочностными характеристиками бетона являются нормативные значения сопротивления бетона осевому сжатию призм R_{bn} и сопротивление осевому растяжению R_{btn} устанавливаемые с обеспеченностью 0,95.

4.2.2. Нормативные значения сопротивлений модифицированного бетона классов B50-B90 (тяжелого и мелкозернистого плотной структуры с плотным мелким заполнителем) R_{bn} и R_{btn} в зависимости от класса бетона по прочности на сжатие согласно СП 63.13330.2012 приведены в табл. 4.1. Они согласуются с данными табл.6.7 СП 13330.2012.

Таблица 4.1

Вид сопротивления	Вид бетона	Нормативные сопротивления бетона, R_{bn} и R_{btn}, МПа и расчетные сопротивления бетона для предельных состояний второй группы, $R_{b,ser}$ и $R_{bt,ser}$, МПа при классе бетона по прочности на сжатие				
		B50	B60	B70	B80	B90
Сжатие осевое (призменная прочность), R_{bn} и $R_{b,ser}$	*тяжелый и мелкозернистый*	36,0	43	50	57	64
Растяжение осевое, R_{btn} и $R_{bt,ser}$	*тяжелый и мелкозернистый*	2,45	2,75	3,00	3,30	3,60

Нормативные сопротивления бетона, приведенные в табл. 4.1 соответствуют возрасту бетона $t_0 = 28$ сут. ($R_{bn} = R_{bn}(28)$; $R_{btn} = R_{btn}(28)$). Нормативные сопротивления бетона при $t_0 \neq 28$ сут. определяются по указаниям п.4.5.3.

4.2. Расчетные сопротивления бетона

4.3.1. Расчетные значения сопротивления модифицированного бетона осевому сжатию и осевому растяжению определяют делением нормативных значений сопротивления бетона на соответствующие коэффициенты надежности по бетону при сжатии γ_{bc} и растяжении γ_{bt}.

Значения коэффициентов надежности принимают равными:

- при сжатии:

γ_{bc} =1,3 – для предельных состояний первой группы;

γ_{bc} =1,0 – для предельных состояний второй группы;

- при растяжении (при назначении класса бетона по прочности на сжатие):

γ_{bt} =1,5 – для предельных состояний первой группы;

γ_{bt} =1,0 – для предельных состояний второй группы.

Кроме этого, для высокопрочных бетонов классов В70, В80, В90 в СП 63.13330.2012 вводится дополнительный понижающий коэффициент $\gamma_{b.br}$. Для модифицировнных бетонов классов В70-В90 он может быть принят несколько увеличинным и определяться по формуле $\gamma_{b.br} = (370 - B)/300$.

Расчетные сопротивления бетона R_b и R_{bt} (с округлением) в зависимости от класса бетона по прочности на сжатие и осевое растяжение для предельных состояний первой группы приведены в табл. 4.2 и 4.3:

Таблица 4.2

Вид сопротивления	Вид бетона	Расчетные сопротивления бетона для предельных состояний первой группы R_b и R_{bt}, МПа при классе прочности на сжатие				
		В50	В60	В70	В80	В90
Сжатие осевое, R_b	*тяжелый и мелкозернистый*	27,7	33,0	38,4	42,35	45,9
Растяжение осевое, R_{bt}	*тяжелый и мелкозернистый*	1,63	1,83	2,00	2,13	2,24

Таблица 4.3

Вид сопротивления	Вид бетона	Расчетные сопротивления бетона для предельных состояний первой группы R_{bt}, МПа при классе бетона на осевое растяжение				
		$B_t2,8$	$B_t3,2$	$B_t3,6$	$B_t3,8$	$B_t4,0$
Растяжение осевое	*тяжелый и мелкозернистый*	2,15	2,45	2,75	2,85	2,95

4.3. Кратковременные деформационные характеристики бетона

4.4.1. Для тяжелых и мелкозернистых модифицированных бетонов классов В50-В90 начальные модули упругости бетона при сжатии и растяжении принимают по табл. 4.4.

Таблица 4.4

Бетон	Начальные модули упругости бетона при сжатии и растяжении $E_b \cdot 10\text{-}3$, МПа при классе бетона по прочности на сжатие				
	В50	В60	В70	В80	В90
Тяжелый	38,5	40,3	42,0	43,0	43,7
Мелкозернистый	33,0	35,3	36,2	36,8	37,2

Модули упругости, приведенные в табл. 4.4 соответствуют возрасту бетона $t_0 = 28$ сут. ($E_b = E_b(28)$). Модули упругости при $t_0 \neq 28$ сут. определяются по указаниям п.4.5.4.

4.4.2. Начальный коэффициент поперечной деформации бетона (коэффициент Пуассона) принимается равным 0,23 для тяжелых и мелкозернистых модифицированных бетонов классов В50-В90.

4.4. Диаграммы состояния бетона

4.4.1. Кратковременные деформации зависят от уровня напряжений и определяются при центральном и внецентральном с малым экцентриситетом сжатия по формуле:

$$\varepsilon_b = \frac{\sigma_b}{E_b \nu_b}, \qquad (4.1)$$

где σ_b – напряжение сжатия;

ν_b – коэффициент изменения текущего модуля, для восходящей ветви диаграммы

$$\nu_b = \hat{\nu}_b + (1 - \hat{\nu}_b)\sqrt{1 - \omega_1\eta - \omega_2\eta^2}, \qquad (4.2)$$

здесь: $\hat{\nu}_b$ – значение ν_b в вершине диаграммы,

$$\hat{\nu}_b = \frac{R_{bn}}{\hat{\varepsilon}_b E_b}, \qquad (4.3)$$

R_{bn} – нормативное значение напряжения сжатия в вершине диаграммы при $\sigma_b = R_{bn}$;

$\hat{\varepsilon}_b$ – значение относительных деформаций сжатия в вершине диаграммы сжатия,

$$\hat{\varepsilon}_b = \frac{B}{E_b} \cdot \frac{1 + 0{,}7B\lambda / 60 + 0{,}2 / B}{0{,}12 + B / 60 + 0{,}2 / B}, \qquad (4.4)$$

B – класс бетона на сжатие;

λ =0,9 при расчете конструкций по первой группе предельных состояний;

λ = 1 при расчете конструкций по второй группе предельных состояний;

η – абсолютная величина уровня напряжений сжатия,

$$\eta = |\sigma_b| / R_{bn}; \qquad (4.5)$$

ω_1, ω_2 – характеристики кривизны диаграммы,

$$\omega_1 = 2 - 2{,}5\hat{\nu}_b; \quad \omega_2 = 1 - \omega_1. \qquad (4.6)$$

Для сжатой зоны изгибаемых и внецентренно сжатых элементов с большим эксцентриситетом:

$$\omega_1 = 2 - 1{,}4\hat{\nu}_b; \quad \omega_2 = 1 - \omega_1 \qquad (4.7)$$

(кроме этого, значения $\hat{\varepsilon}_b$ вычисленные по формуле (4.4) умножаются на коэффициент 1,2).

Для ниспадающей ветви диаграммы формула (4.2) записывается в виде:

$$\nu_b = \hat{\nu}_b - (\nu_0 - \hat{\nu}_b)\sqrt{1 - \omega_1^*\eta - \omega_2^*\eta}, \qquad (4.8)$$

где

$$\nu_0 = 2{,}05\,\hat{\nu}_b;\ \ \omega_1^* = 1{,}95\,\hat{\nu}_b - 0{,}138\ ;\ \ \omega_2^* = 1 - \omega_1^*\ . \qquad (4.9)$$

Сжимающие напряжения σ_b принимаются отрицательными, т.е. они вводятся в формулу (4.1) со знаком минус.

При расчете конструкций по первой группе предельных состояний в представленных выше формулах $R_{b\,n}$ заменяется на R_b.

Деформации растяжения бетона для центрально растянутых элементов и внецентренно растянутых с малым эксцентриситетом элементов определяется по формулам (4.1), (4.2) с заменой формул (4.3) – (4.5) на следующие зависимости:

$$\hat{\nu}_b = (0{,}6 + 0{,}15\,R_{bt\,n}/2{,}5)/\gamma_{bt}\ ,$$
$$\eta = |\sigma_{bt}|/R_{bt\,n}\ , \qquad (4.10)$$

для внецентренно растянутых элементов $\gamma_{bt} = 1$, в других случаях

$$0{,}9 \le \gamma_{bt} = 2{,}07 - \sqrt[3]{h/h_э}\ , \qquad (4.11)$$

где $R_{bt\,n}$ – нормативное значение напряжений растяжения в вершине диаграммы;

параметры ω_1 и ω_2 определяются по формулам (4.6);

$h_э = 0{,}3$ м, h – высота сечения в метрах.

При расчете конструкций по первой группе предельных состояний в представленных выше формулах $R_{bt\,n}$ заменяется на R_{bt} .

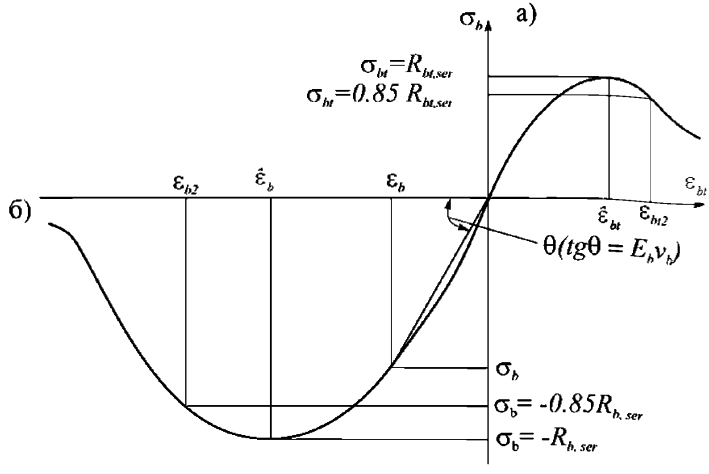

Рис. 4.1. Диаграмма деформирования бетона при растяжении (а) и сжатии (б)

4.5.1. Коэффициент ν_b также определяется через уровень деформаций $\eta_d = \varepsilon_b / \hat{\varepsilon}_b$ по зависимости

$$\nu_b = \rho + \sqrt{\rho^2 + s}, \tag{4.12}$$

где

$$\rho = \frac{\hat{\nu}_b\left[2\hat{\nu}_b^2 - \omega\ \eta_d(\nu_0 - \hat{\nu}_b)^2\right]}{2\left[\hat{\nu}_b^2 + (1-\omega)\eta_d^2(\nu_0 - \hat{\nu}_b)^2\right]};$$

$$s = \frac{\hat{\nu}_b^2(\nu_0^2 - 2\nu_0\hat{\nu}_b)}{\hat{\nu}_b^2 + (1-\omega)\eta_d^2(\nu_0 - \hat{\nu}_b)^2},$$

для растянутых элементов в представленных выше формулах заменяются:

$$\nu_b \text{ на } \nu_{bt},\ \hat{\nu}_b \text{ на } \hat{\nu}_{bt},\ \eta_d = \varepsilon_{bt} / \hat{\varepsilon}_{bt}.$$

4.5.2. Как для сжатого, так и для растянутого бетона нисходящая ветвь при двухзначной эпюре напряжений используется до уровня напряжений η = 0,85 (рис. 5.1). После этого уровня соответствующий элемент бетона принимается выключенным из работы.

За максимальное принимается усилие, которое может быть воспринято сечением с учетом выключения из работы отдельных слоев бетона, деформация которых превышает предельные значения.

4.5.3. Формулы п. 4.5.1 – п. 4.5.3 относятся к возрасту бетона $t_0 = 28$ сут. При $t_0 \neq 28$ сут. в этих формулах следует заменять: R_{bn} на $R_{bn}(t_0)$, R_{btm} на $R_{btn}(t_0)$, В на $B \cdot R_{btn}(t_0) / R_{bn}(28)$, E_b на $E_b(t_0)$, где величины $R_{bn}(t_0)$, $R_{btn}(t_0)$, $E_b(t_0)$ определяются по указаниям п. 4.6.3 и 4.6.4. При этом величины ν_b, ν_{bt} заменяются соответственно $\nu_b(t_0)$, $\nu_{bt}(t_0)$.

4.5. Учет деформаций ползучести

Этот учет необходим для определения температурно-усадочых и силовых (от нагрузки) напряжений и деформаций в конструкциях в двух стадиях: 1) в процессе возведения, 2) в процессе эсплуатации.

4.6.1. Предельное значение линейной меры ползучести бетона, загруженного в возрасте 28 суток, находится по формуле:

$$C(\infty, 28) = C^N(\infty, 28) \cdot \xi_1 \cdot \xi_2, \qquad (4.13)$$

где $C^N(\infty, 28)$ – предельное значения линейной меры ползучести бетона, загруженного в возрасте 28 суток и твердеющего в естественных условиях при относительной влажности окружающей среды W=60%, которые принимают по табл. 4.5.

Таблица 4.5

Вид бетона	$C^N(\infty, 28)\cdot 10^6$, МПа$^{-1}$, для бетона класса				
	B50	B60	B70	B80	B90
Тяжелый	53	52	51	50	50
Мелкозернистый	65	65	60	60	60

Коэффициент ξ_1, учитывающий относительную влажность окружающей среды[1)], принимают равным:

---

[1] Примечания:

- для конструкций, эксплуатирующихся на открытом воздухе, средняя относительная влажность берется за теплый период года;
- теплым периодом необходимо считать период, когда среднесуточная температура наружного воздуха выше +5°С, а минимальная суточная температура выше 0°С;

•1 – при относительной влажности воздуха окружающей среды 60%;

•0,47 – при относительной влажности воздуха окружающей среды 100%.

Промежуточные значения коэффициента ξ_1 находятся путем линейной интерполяции.

Коэффициент ξ_2, учитывающий модуль открытой поверхности[2] конструкции, принимают по табл. 4.6.

Таблица 4.6

Характеристика	Модуль открытой поверхности конструкции, $м^{-1}$					
	0	5	10	20	40	60 и более
ξ_2	0,51	0,65	0,76	0,93	1,11	1,25

4.6.2. Меру линейной ползучести бетона к моменту времени t при загружении его в возрасте t_0 принимают в виде:

$$C(t,t_0) = C(\infty,28)\cdot\Omega(t_0)\cdot f(t-t_0), \qquad (4.14)$$

где $C(\infty,28)$ – предельное значение меры ползучести, определяемое по формуле (4.13);

$\Omega(t_0)$ – функция, учитывающая влияние старения бетона на меру ползучести;

$f(t-t_0)$ – функция, учитывающая нарастание во времени меры ползучести.

Для функций $\Omega(t_0)$ и $f(t-t_0)$ принимаются выражения

$$\Omega(t_0) = 0,5 + de^{-2\gamma_1 t_0} \qquad (4.15)$$

$$f(t-t_0) = 1 - De^{-\alpha(t-t_0)} - Be^{-\gamma_1(t-t_0)} \qquad (4.16)$$

где d и γ_1 назначаются по табл. 4.7 и табл. 4.8; B = 0,475; D = 0,525, α =0,1.

– влажность воздуха окружающей среды принимается по СП 131.13330.

[2] Модулем поверхности называется величина, численно равная отношению площади открытой поверхности конструкции к объему этой конструкции.

Таблица 4.7

Параметры	t_0, сут.	Значение параметра d при модуле открытой поверхности конструкции M_0, м$^{-1}$			
		10 и менее	20	40	60 и более
d	3	1,326	1,485	1,661	1,855
	7	1,001	1,121	1,256	1,406
	14	0,737	0,825	0,924	1,035
	28	0,626	0,701	0,785	0,879
	>60	0,592	0,663	0,744	0,833

Табл. 4.8

Параметры	Значение параметра γ_1 при модуле открытой поверхности конструкции M_0, м$^{-1}$			
	10 и менее	20	40	60 и более
$\gamma_1 сут^{-1}$	0,004	0,006	0,008	0,010

4.6.3. Меру нелинейной ползучести к моменту времени t при загружении в возрасте t_0 принимают в виде:

$$C(\sigma_b, t, t_0) = f_c \cdot C(t, t_0), \tag{4.17}$$

где f_c – функция нелинейности.

Для определения функции нелинейности принимают выражение

$$f_c = 1 + 3V_c \frac{\eta^4(t_0)}{\sqrt{1 - 0{,}1e^{-\gamma_1(t-t_0)}}}, \tag{4.18}$$

где V_c назначается по табл. 4.9,

$$\eta(t_0) = \sigma_b(t_0) / R_{bn}(t_0). \tag{4.19}$$

Здесь $R_{bn}(t_0)$ – нормативная прочность бетона в возрасте t_0 в сутках, которая определяется по формулам:

для сжатия – $$R_{bn}(t_0) = R_{bn}(28)\left[1 + \frac{23}{55 + B}\left(\frac{t_0 - 28}{t_0 + 5}\right)\right], \tag{4.20}$$

для растяжения – $$R_{btn}(t_0) = R_{btn}(28)\left[1 + \frac{23}{75 + B}\left(\frac{t_0 - 28}{t_0 + 1}\right)\right]^{0,6}, \tag{4.21}$$

где В – класс бетона в возрасте $t_0 = 28$ сут. При растяжении в формуле (4.19) $R_{bn}(t_o)$ заменятся на $R_{btn}(t_o)$, $\sigma_b(t_o) = \sigma_{bt}(t_o)$.

Формулы (4.20), (4.21) для возраста $t_0 > 28$ сут. справедливы при внешней среде, очень благоприятной для нарастания прочности бетона, в противном случае при $t_0 > 28$ сут. $R_{bn}(t_o) = R_{bn}(28)$; $R_{btn}(t_0) = R_{btn}(28)$.

4.6.4. Полную относительную деформацию сжатого или растянутого бетонного элемента в момент времени t, загруженного напряжениями $\sigma_b(t_0)$ в момент времени t_0 определяют по формуле:

$$\varepsilon_b(t,t_o) = \sigma_b(t_o)\left[\frac{1}{E_b(t_o)\nu_b(t_o)} + C(\sigma_b,t,t_o)\right], \qquad (4.22)$$

где $E_b(t_0)$ определяется по формуле

$$E_{bn}(t_0) = E_{bn}(28)\left[1 + \frac{23}{55 + B}\left(\frac{t_0 - 28}{t_0 + 5}\right)\right]^{0,3}, \qquad (4.23)$$

где В – класс бетона для возраста t_0=28 сут.

Таблица 4.9

Параметры	Значение ν_c при проектном (В) и условном (В(t_0)) классе бетона				
	B50	B60	B70	B80	B90
V_c	1,35	1,28	1,25	1,2	1,2

4.6.5. При расчете конструкций диаграммным методом с учетом деформаций ползучести формула (4.22) для *i*-го участка бетона преобразовывается к виду

$$\varepsilon_b(t,t_o) = \frac{\sigma_b(t_o)}{E_b(t_o)\tilde{\nu}_b(t_o)} = \sigma_b(t_o)\left[\frac{1}{E_b(t_o)\nu_b(t_o)} + C(\sigma_b,t,t_o)\right],$$

откуда

$$\tilde{\nu}_b(t_o) = \frac{\nu_b(t_o)}{1 + \nu_b(t_o)C(\sigma_b,t,t_o)E_b(t_o)}, \qquad (4.24)$$

где $\nu_b(t_o)$ определяется как ν_b (или $\nu_{bt}(t_o)$ при $\sigma_b(t_o) = \sigma_{bt}(t_o)$) по зависимостям п.п. 4.5.1 – 4.5.3, мера ползучести $C(\sigma_b,t,t_0)$ применятся как при сжатии, так и при

растяжении с учетом указаний п. 4.6.3; в случае растяжения ($\sigma_b(t_0) = \sigma_{bt}(t_0)$) значение $\nu_b(t_0)$, $\tilde{\nu}_b(t_0)$ соответственно заменяются на $\nu_{bt}(t_0)$, $\tilde{\nu}_{bt}(t_0)$.

Значения $\tilde{\nu}_b(t_0)$, $\tilde{\nu}_{bt}(t_0)$ используют в диаграммном методе расчета на длительное действие нагрузки вместо ν_b, ν_{bt}.

В случае, если при $t \geq 28$ сут. изменение модуля деформации бетона и прочности бетона не учитываются, следует принимать $E_b(t_0) = E_b$, где E_b – начальный модуль упругости бетона, принимаемой по табл. 6.1 СП 63.13330.2012. Обозначая при этом $\sigma_b(t_0) = \sigma_b$, $\nu_b(t_0) = \nu_b$, где ν_b определяется как ν_b по формулам п.п. 4.5.1 – 4.5.2, зависимость (4.24) можно преобразовать к виду

$$\tilde{\nu}_b(t_0) = \frac{\nu_b}{1 + \nu_b C(\sigma_b, t, t_0) E_b}, \qquad (4.25)$$

в случае растяжения в формуле (4.25) $\tilde{\nu}_b(t_0)$, ν_b заменяются соответственно на $\tilde{\nu}_{bt}(t_0)$, ν_{bt}.

4.7. Учет усадки бетона

4.7.1. Предельное значение усадки высокопрочных тяжелых и мелкозернистых модифицированных бетонов классов В50-В90 определяют по выражению:

$$\varepsilon_{bs}(\infty, t_w) = \varepsilon_{bs}^N(\infty, 7)\xi_1\xi_2\xi_3\xi_4\xi_5, \qquad (4.26)$$

где t_w = 7 сут. – период твердения бетона при влажности (W) 95 ± 3 % и температуре (t) 20 ± 3 °С.

Базовое предельное значение усадки бетона $\varepsilon_{bs}^N(\infty,7)$ при окончании его влажного зранения в возрасте 7 сут., твердеющего в естественных условиях при относительной влажности окружающей среды W-60% – $\varepsilon_{bs}^N(\infty,7)$, принимают по табл. 4.10:

Таблица 4.10

Вид бетона	$\varepsilon_{bs}^N(\infty,7)\cdot 10^{-5}$ для бетона класса				
	В50	В60	В70	В80	В90
Тяжелый	60	60	60	60	60
Мелкозернистый	80	80	80	80	80

Коэффициент ξ_1 принимают равным в зависимости от момента окончания нормального хранения (при W = 95 ± 3 % и t = 20 ± 3 °С) по табл. 4.11 с интерполяцией промежуточных значений.

Таблица 4.11

Характеристика	Возраст бетона в момент окончания влажного хранения t_w, суток					
	7 и менее	28	60	90	180	360 и более
ξ_1	1	0,95	0,93	0,92	0,91	0,90

Коэффициент ξ_2 принимают равным в зависимости от модуля открытой поверхности конструкции по табл. 4.12 с интерполяцией промежуточных значений.

Таблица 4.12

Характеристика	Модуль открытой поверхности конструкции, $м^{-1}$					
	0	5	10	20	40	60 и более
ξ_2	0,6	0,65	0,7	0,92	1,10	1,20

Коэффициент ξ_3 принимают равным в зависимости от влажности воздуха окружающей среды по табл. 4.13 с интерполяцией промежуточных значений.

Таблица 4.13

Характеристика	Влажность воздуха окружающей среды, %						
	40 и менее	50	60	70	80	90	100
ξ_3	1,14	1,08	1	0,95	0,9	0,65	0,2

Коэффициент ξ_4 зависит от вида модификатора бетона. При использовании органо-минерального модификатора марки Эмбэлит компенсирующего усадку (тип Б по ГОСТ Р 56178-2014) коэффициент принимается равным 1.

Коэффициент ξ_5 зависит от подвижности бетонной смеси:

ξ_5 = 1 – для жестких смесей марок по удобоукладываемости П1-П3 (с осадкой конуса 10 см и ниже);

ξ_5 = 1,15 – для пластичных смесей марки по удобоукладываемости П4(с осадкой конуса до 20 см);

ξ_5 = 1,25 – для высокопластичных смесей марки по удобоукладываемости П5 (с осадкой конуса до 27 см);

ξ_5 =1,45 – для самоуплотняющихся смесей (расплывом конуса более 65 см).

Деформации усадки в момент времени t вычисляются по формуле:

$$\varepsilon_{bs}(t,t_w) = \varepsilon_{bs}(\infty,t_w)\left[1 - e^{\alpha(t-t_w)}\right]\left[\frac{A}{e^{-\gamma(t-t_w)}} + 1\right], \qquad (4.27)$$

где параметр α определяется по табл. 4.14; A=2; γ =0,035.

Таблица 4.14

Модуль открытой поверхности M_o	10 и менее	20	40	670	80 и более
	0,004	0,008	0,015	0,02	0,03

4.8. Общие требования к арматуре

4.8.1. В конструкциях из тяжелых и мелкозернистых модифицированных бетонов классов В50-В90 должна применяться арматура в соответствии с СП 52-101-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры». При этом характеристики профиля арматуры, ее механические свойства и химический состав должны удовлетворять требованиям ГОСТ 5781-82 «Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций»; ГОСТ 52544-2006 «Прокат арматурный свариваемый периодического профиля классов А500С и В500С для армирования железобетонных конструкций»; СТО АСЧМ 7-93 «Прокат периодического профиля из арматурной стали. Технические условия»; СТО 36554501-005-2006 «Применение арматуры класса А500СП в железобетонных конструкциях».

4.8.2. Нормативные и расчетные сопротивления для первой и второй групп по предельным состояниям, а также остальные расчетные прочностные и деформационные характеристики берутся из соответствующих таблиц СП 63.13330.2012.

4.9. Диаграммы состояния арматуры

4.9.1. Диаграммы состояния (деформирования) арматуры $\varepsilon_s - \sigma_s$ используют при расчете железобетонных элементов по нелинейной деформационной модели.

Диаграмма арматуры разделяется на два участка: линейный от $\sigma_s = 0$ до $\sigma_s = \sigma_{s.el}$ и нелинейный от $\sigma_s = \sigma_{s.el}$ до $\sigma_s = \sigma_{s.u}$,

где $\sigma_{s.el}$ – предел упругости арматуры, равный $R_{s.n}\eta_{s.el}$;

$\sigma_{s.u}$ – сопротивление арматура разрыву, равное $R_{s.n}\gamma_{su}$;

$\varepsilon_{s.u}$ – относительная деформация, соответствующая $\sigma_{s.u}$.

Коэффициенты $\eta_{s.el}$,γ_{su} и значения $\varepsilon_{s.u}$ приведены в табл. 4.15.

Таблица 4.15

Вид и класс арматуры с условным пределом текучести	$\eta_{s.el}$	$\gamma_{s.u}$	$\varepsilon_{s.u}$
A500	0,85	1,15	0,10
Горячекатаная класса:			
A600	0,8	1,35	0,06
A800	0,8	1,45	0,07
A1000	0,8	1,25	0,06
Термомеханические упрочненная классов Ат1000 и Ат1200 диаметром, мм:			
10-14	0,8	1,23	0,06
16-32	0,8	1,15	0,07
Холоднодеформированная класса В500 диаметром, мм:			
3	0,75	1,09	0,02
4	0,75	1,08	0,025
5 и более	0,75	1,05	0,03
класса Вр1200 диаметром, мм, 8	0,85	1,05	0,04
« Вр1300 « 7	0,85	1,05	0,04
« Вр1400 « 6;5	0,85	1,1	0,05
« Вр1460 « 4	0,85	1,2	0,06
« В1500 « 3	0,85	1,2	0,06

На линейном участке (при $\sigma_s \le \sigma_{s.el}$) диаграмма описывается формулой $\varepsilon_s = \sigma_s / E_s$, при этом $\nu_s = 1$.

На нелинейном отрезке (при $\sigma_s \ge \sigma_{s.el}$)

$$\varepsilon_s = \frac{\sigma_s}{\nu_s E_s}, \tag{4.28}$$

где ν_s – коэффициент изменения секущего модуля арматуры

$$\nu_s = \hat{\nu}_s + (1 - \hat{\nu}_s)\sqrt{1 - \omega\eta - (1 - \omega)\eta^2} , \tag{4.29}$$

$\hat{\nu}_s$ – коэффициент изменения секущего модуля в вершине диаграммы (при $\sigma_s = \sigma_{s.u}$),

$$\hat{\nu}_s = \frac{\sigma_{su}}{E_s \varepsilon_{s.u}},$$

η – уровень приращения напряжений,

$$\eta = \frac{\sigma_s - \sigma_{s.el}}{\sigma_{s.u} - \sigma_{s.el}}, \tag{4.30}$$

ω – коэффициент, характеризующий кривизну диаграммы,

$$\omega = \frac{(1 - \hat{\nu}_s)^2 (\eta_{0.2} - 1) + (\eta_{0.2} - \hat{\nu}_s)}{\eta_{0.2}(\eta_{0.2} - 1)(1 - \hat{\nu}_s)^2}, \tag{4.31}$$

$\eta_{0.2}$ – уровень напряжений при $\sigma_s = \sigma_{0.2}$ ($\sigma_{0.2} = R_s$ – в расчетах по первой группе предельных состояний, $\sigma_{0.2} = R_{s.cer}$ – в расчетах по второй группе предельных состояний);

$$\eta_{0.2} = \frac{\sigma_{0.2} - \sigma_{s.el}}{\sigma_{s.u} - \sigma_{s.el}}; \nu_{0.2} = \frac{\sigma_{0.2}}{\sigma_{0.2} - 0{,}002\ E_s}, \tag{4.32}$$

$\nu_{0.2}$ – коэффициент изменения секущего модуля при $\sigma_s = \sigma_{0.2}$.

Представленную выше диаграмму деформирования арматуры для горячекатаной арматуры (табл. 4.15) разрешается использовать до нарушения условия:

$$\varepsilon_s \le 0{,}025\ . \tag{4.33}$$

Для остальной арматуры, представленной в табл. 4.15, диаграмму деформирования арматуры разрешается использовать до нарушения условия

$$\varepsilon_s \le 0{,}015\ . \tag{4.34}$$

При нарушении условий (4.33), (4.34) стержень выключается из работы.

Для арматуры с физическим пределом текучести (табл. 4.16) принимается: $\sigma_{s.u} = \sigma_{s(r)}; \varepsilon_{s.u} = \varepsilon_{s(r)}$, где $\sigma_{s(r)}, \varepsilon_{s(r)}$ – напряжение и деформация, соответствующие концу первого нелинейного участка диаграммы до начала самоупрочнения, при этом

$$\hat{\nu}_s = \frac{\sigma_{s(r)}}{E_s \varepsilon_{s(r)}}; \eta = \frac{\sigma_s - \sigma_{s.el}}{\sigma_{s(r)} - \sigma_{s.el}}, \eta_{0.2} = \frac{\sigma_{0.2} - \sigma_{s.el}}{\sigma_{s(r)} - \sigma_{s.el}}, \tag{4.35}$$

где $\sigma_{s(r)} = R_s\gamma_{s(r)}$ – напряжение в арматуре в начале участка самоупрочнения, соответствующие относительным деформациям $\varepsilon_{s(r)}$. Коэффициент $\gamma_{s(r)}$, а также деформация $\varepsilon_{s(r)}$ приведены в табл. 4.16.

Таблица 4.16

Класс арматуры с физическим пределом текучести	$\eta_{s.el}$	$\gamma_{s.(r)}$	$\varepsilon_{s(r)}$	$\gamma_{s.u}$	$\varepsilon_{s.u}$
A240	0,97	1,01	0,0162	1,015	0,025
A400	0,90	1,05	0,010	1,1	0,025

Допускается для арматуры с площадкой текучести использовать диаграмму до деформаций $\varepsilon_{s.u}$, заменяя $\varepsilon_{s(r)}$, $\gamma_{s(r)}$ на условные величины $\varepsilon_{s.u}$, $\gamma_{s.u}$, представленные в табл. 4.16.

Если $\varepsilon_s \succ 0{,}025$, стрежень выключается из работы.

Для второй группы предельных состояний $\sigma_{s(r)} = R_{s.ser}\gamma_{s(r)}$.

4.9.2. Коэффициент изменения секущего модуля также может определяться через уровень деформаций $\eta_d = \varepsilon_s / \varepsilon_{s.u}$ из решения квадратного уравнения

$$A\nu_s^2 + B\nu_s + C = 0, \tag{4.36}$$

$$A = 1 + \frac{(1-\omega)(1-\hat{\nu}_s)^2\eta_d^2\sigma_{s.u}^2}{\hat{\nu}_s^2(\sigma_{s.u}-\sigma_{s.el})^2};$$

$$B = \left[2\hat{\nu}_s - \frac{\eta_d(1-\hat{\nu}_s)^2\sigma_{s.u}}{\hat{\nu}_s(\sigma_{s.u}-\sigma_{s.el})}\left(\omega - \frac{2(1-\omega)\sigma_{s.el}}{\sigma_{s.u}-\sigma_{s.el}}\right)\right];$$

$$C = \hat{\nu}_s^2 - (1-\hat{\nu}_s)^2\left[1 + \frac{\omega\sigma_{s.el}}{\sigma_{s.u}-\sigma_{s.el}} - \frac{(1-\omega)\sigma_{s.el}^2}{(\sigma_{s.u}-\sigma_{s.el})^2}\right];$$

(при решении уравнения (4.34) перед квадратным корнем принимается знак плюс).

5. Особенности расчет железобетонных конструкций из высокопрочных бетонов по двум группам предельных состояний

5.1. Общие положения

5.1.1. В соответствии с требованием по обеспечению надежности, долговечности и эксплуатационной пригодности проектируемые железобетонные конструкции из высокопрочных модифицированных бетонов должны

рассчитываться по прочности, образованию и раскрытию трещин и деформациям в соответствии с требованиями СП.63.13330.2012 с указанными ниже дополнениями. При определении прочности в формуле (8.1) для тяжелых и мелкозернистых бетонов классов В70-В90 вместо коэффициента 0,8 следует принимать 0,75 (вместо рекомендуемых 0,7 по СП.63.13330.2012). В СП.63.13330.2012 включена нелинейная диаграммная модель расчета нормальных сечений железобетонных конструкций по прочности с использованием условных линейчатых диаграмм деформирования бетона и арматуры (двух линейной и трех линейной). В данном разделе рекомендуется использовать более точную нелинейную диаграммную модель расчета нормальных сечений железобетонных конструкций как по прочности (по первой группе предельных состояний), так и деформативности (по второй группе предельных состояний) с использованием нормируемых криволинейных диаграмм деформирования арматуры и бетона, представленных в разделе 4.

5.2. Общие условия нелинейной диаграммной модели

5.2.1. При расчете по прочности и деформативности усилия в сечении, нормальном к продольной оси элемента, определяют на основе нелинейной деформационной модели, использующей уравнения равновесия внешних сил и внутренних усилий в сечении элемента, а также следующие положения:

- распределение относительных деформаций бетона и арматуры по высоте сечения элемента принимают по линейному закону (гипотезе плоских сечений);
- связь между осевыми напряжениями и относительными деформациями бетона и арматуры принимают в виде диаграмм состояния (деформирования) бетона и арматуры (п.п. 4.1 – 4.6);
- сопротивление бетона растянутой зоны допускается не учитывать, принимая напряжения $\sigma_{bt} = 0$. В отдельных случаях (например, изгибаемые и внецентренно сжатые бетонные конструкции, в которых не допускают трещины) расчет по прочности производят с учетом работы растянутого бетона.

5.2.2. Переход от эпюры напряжений в бетоне к обобщенным внутренним усилиям определяют с помощью процедуры численного интегрирования напряжений по нормальному сечению. Для этого нормальное сечение условно разделяют на малые участки i (i = 1, 2, …): при косом внецентренном сжатии (растяжении) и косом изгибе – по высоте и ширине сечения; при внецентренном сжатии (растяжении) и изгибе в плоскости оси симметрии поперечного сечения элемента – только по высоте сечения. Напряжения в пределах малых участков i принимают равномерно распределенными (усредненными).

5.2.3. Каждый арматурный стержень выделяется индексом j (j = 1, 2, ...).

5.2.4. При расчете элементов с использованием деформационной модели принимают:

- значения сжимающей продольной силы, а также сжимающих напряжений и деформаций укорочения бетона и арматуры со знаком «минус»;
- значения растягивающей продольной силы, а также растягивающих напряжений и деформаций удлинения бетона и арматуры со знаком «плюс».

Знаки координат центров тяжести арматурных стержней и выделенных участков бетона, а также точки приложения продольной силы принимают в соответствии с назначенной системой координат XOY (для примера на рис. 5.1 приведены положительные значения координат *i-го* участка бетона: z_{bxi}, z_{byi} и j-го арматурного стержня: z_{sxj}, z_{syj}). В общем случае начало координат этой системы (точка 0 на рис. 5.1) может располагаться в произвольном месте в пределах поперечного сечения элемента, хотя для унификации расчета в линейной и нелинейной стадии деформирования элемента начало координат назначают в центре тяжести сечения при упругой стадии деформирования элемента.

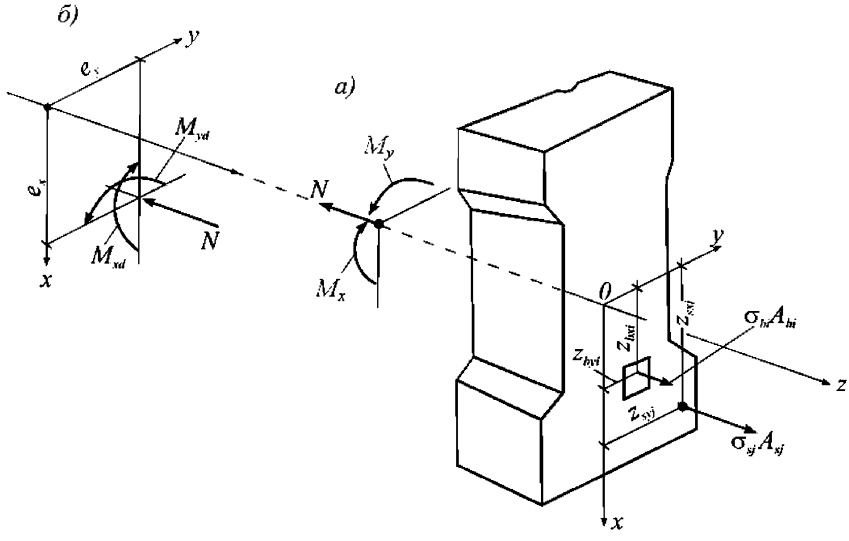

Рис. 5.1. Расчетная схема нормального сечения железобетонного элемента

5.3. Основные уравнения деформационной диаграммной модели

5.3.1. При расчете нормальных сечений по прочности и деформативности в общем случае (рис. 5.1) используют:

- уравнения равновесия внешних сил и внутренних усилий в нормальном сечении элемента

$$M_x = \sum_i \sigma_{bi} \cdot A_{bi} \cdot Z_{bxi} + \sum_j \sigma_{sj} \cdot A_{sj} \cdot Z_{sxj} ;$$

$$M_y = \sum_i \sigma_{bi} \cdot A_{bi} \cdot Z_{byi} + \sum_j \sigma_{sj} \cdot A_{sj} \cdot Z_{syj} ; \qquad (5.1)$$

$$N = \sum_i \sigma_{bi} \cdot A_{bi} + \sum_j \sigma_{sj} \cdot A_{sj} ;$$

- уравнения, определяющие распределение деформаций по сечению элемента

$$\varepsilon_{bi} = \varepsilon_o + \frac{1}{r_x} \cdot Z_{bxi} + \frac{1}{r_y} \cdot Z_{byi} ; \qquad (5.2)$$

$$\varepsilon_{sj} = \varepsilon_o + \frac{1}{r_x} \cdot Z_{sxj} + \frac{1}{r_y} \cdot Z_{syj} ; \qquad (5.3)$$

- зависимости, связывающие напряжения и относительные деформации бетона и арматуры

$$\sigma_{bi} = E_b \cdot \nu_{bi}^{c} \cdot \varepsilon_{bi}; \quad (5.4)$$

$$\sigma_{sj} = E_{sj} \cdot \nu_{sj}^{c} \cdot \varepsilon_{sj}, \quad (5.5)$$

где ν_{bi}^{c} – коэффициент секущего модуля деформации бетона для *i*-го участка, зависящий от вида расчетов (по прочности, по деформациям на кратковременное или длительное действие нагрузки, (п.5.4 – 5.6);

ν_{sj}^{c} – коэффициент секущего модуля деформации арматуры для *j*-го стрежня, зависящий от вида расчетов (по прочности, по деформациям, для элементов без трещин, для элементов с трещинами; (п.5.4 – 5.6);

В уравнениях (5.1):

N – продольная сила от внешней нагрузки;

M_x, M_y – изгибающие моменты от внешней нагрузки относительно выбранных и располагаемых в пределах поперечного сечения элемента координатных осей (соответственно действующих в плоскостях XOZ и YOZ или параллельно им); если внешняя нагрузка в виде моментов M_{xd}, M_{yd} и нормальной силы N приложена с эксцентриситетами e_x, e_y относительно выбранных осей, то ее действие приводится к моментам M_x и M_y и нормальной силы относительно выбранной системы координат (рис. 5.1) по формулам

$$M_x = M_{xd} + N \cdot e_x; \quad (5.6)$$

$$M_y = M_{yd} + N \cdot e_y; \quad (5.7)$$

A_{bi}, Z_{bzi}, Z_{byi}, σ_{bi} – площадь, координаты центра тяжести *i*-го участка бетона и напряжение на уровне его центра тяжести;

A_{sj}, Z_{sxj}, Z_{syj}, σ_{sj} – площадь, координаты центра тяжести *j*-го стержня арматуры и напряжение в нем;

ε_o – относительная деформация волокна, расположенного на пересечении выбранных осей (в точке 0);

$\frac{1}{r_x}, \frac{1}{r_y}$ – кривизна продольной оси в рассматриваемом поперечном сечении элемента в плоскостях действия изгибающих моментов M_x и M_y;

E_b – начальный модуль упругости бетона;

E_{sj} – модуль упругости j-го стержня арматуры;

$$\frac{1}{r_x} = \frac{d^2 f_x}{dz^2}; \quad \frac{1}{r_y} = \frac{d^2 f_y}{dz^2}; \quad \varepsilon_o = \frac{du}{dz}$$

где f_x – прогибы стержня по направлению оси x,

f_y – прогибы стержня по направлению оси y,

u – горизонтальные перемещения стержня вдоль оси z.

5.3.2. Для железобетонных элементов, на которые действуют изгибающие моменты двух направлений и продольная сила (рис. 5.1), связь их с кривизнами и относительным удлинением на уровне оси Z представляется физическими соотношениями вида:

$$\begin{aligned} M_x &= D_{11} \cdot \frac{1}{r_x} + D_{12} \cdot \frac{1}{r_y} + .D_{13} \cdot \varepsilon_o; \\ M_y &= D_{12} \cdot \frac{1}{r_x} + D_{22} \cdot \frac{1}{r_y} + D_{23} \cdot \varepsilon_o; \\ N &= D_{13} \cdot \frac{1}{r_x} + D_{23} \cdot \frac{1}{r_y} + D_{33} \cdot \varepsilon_o, \end{aligned} \tag{5.8}$$

где жесткостные характеристики D_{ij} $(i, j - 1, 2, 3)$ определяют по формулам:

$$\begin{aligned} D_{11} &= \sum_i A_{bi} \cdot Z_{bxi}^2 \cdot E_b \cdot \nu_{bi}^s + \sum_j A_{sj} \cdot Z_{sxj}^2 \cdot E_{sj} \cdot \nu_{sj}^c; \\ D_{22} &= \sum_i A_{bi} \cdot Z_{byi}^2 \cdot E_b \cdot \nu_{bi}^c + \sum_j A_{sj} \cdot Z_{syj}^2 \cdot E_{sj} \cdot \nu_{sj}^c; \\ D_{12} &= \sum_i A_{bi} \cdot Z_{bxi} \cdot Z_{byi} \cdot E_b \cdot \nu_{bi}^c + \sum_j A_{sj} \cdot Z_{sxj} \cdot Z_{syj} \cdot E_{sj} \cdot \nu_{sj}^c; \\ D_{13} &= \sum_i A_{bi} \cdot Z_{bxi} \cdot E_b \cdot \nu_{bi}^c + \sum_j A_{sj} \cdot Z_{sxj} \cdot E_{sj} \cdot \nu_{sj}^c; \\ D_{23} &= \sum_i A_{bi} \cdot Z_{byi} \cdot E_b \cdot \nu_{bi}^c + \sum_j A_{sj} \cdot Z_{sy} \cdot E_{sj} \cdot \nu_{sj}^c; \end{aligned} \tag{5.9}$$

$$D_{33} = \sum_i A_{bi} E_b \cdot \nu_{bi}^c + \sum_j A_{sj} \cdot E_{sj} \cdot \nu_{sj}^c .$$

Координаты центра тяжести в осях x, y, z определяются по формулам

$$z_{cx} = \frac{D_{13}}{D_{33}}; z_{cy} = \frac{D_{23}}{D_{33}}, \tag{5.10}$$

где величины z_{cx}, z_{cy} могут быть как положительными, так и отрицательными. Поместив начало координат x, y, z в точку центра тяжести путем параллельного переноса (эти центральные оси обозначим x^*, y^*, z^*), получаем запись системы в центральных осях:

$$\left.\begin{aligned} M_x^* &= D^*_{11} \frac{1}{\rho_x} + D^*_{12} \frac{1}{\rho_y}; \\ M_y^* &= D^*_{12} \frac{1}{\rho_x} + D^*_{22} \frac{1}{\rho_y}; \\ N &= D^*_{33} \varepsilon_0^*, \end{aligned}\right\} \tag{5.11}$$

где соблюдаются условия:

$$D_{13}^* = 0, D_{23}^* = 0 , \tag{5.12}$$

$$\varepsilon_0^* = \varepsilon_0 + z_{cx} \frac{1}{\rho_x} + z_{cy} \frac{1}{\rho_y}, \tag{5.13}$$

$$\begin{aligned} M_x^* &= M_x - N z_{cx}, \\ M_y^* &= M_y - N z_{cy}. \end{aligned} \tag{5.14}$$

Жесткости D_{ij}^* определяются по формулам (5.9), где величины $Z_{bxi}, Z_{byi}, Z_{sxj}, Z_{syj}$ определяются относительно центральных осей.

Для железобетонных элементов, на которые действуют только изгибающие моменты двух направлений M_x и M_y (косой изгиб), в уравнении (5.8) принимают $N=0$.

5.3.3. Для внецентренно сжатых в плоскости симметрии поперечного сечения железобетонных элементов и расположении оси X в этой плоскости принимают $M_y=0$ и $D_{12}=D_{23}=0$. В этом случае физические уравнения имеют вид:

$$M_x = D_{11} \cdot \frac{1}{r_x} + D_{13} \cdot \varepsilon_o ; \quad N = D_{13} \cdot \frac{1}{r_x} + D_{33} \cdot \varepsilon_o . \tag{5.15}$$

При этом сечение разделяется на слои, нормальные к оси симметрии x.

В осях симметрии $x^* oz^*$, $D_{13} = 0$ и система (5.15) упрощается

$$M_x^* = D_{11}^* \cdot \frac{1}{r_x}; N = D_{33}^* \cdot \varepsilon_o . \tag{5.16}$$

При равенстве нулю нормальной силы.

$$M_x^* = D_{11}^* \cdot \frac{1}{r_x}; \varepsilon_o = 0 \tag{5.17}$$

Напряжения в любом бетонном слое и арматурном стержне определяются по формулам

$$\sigma_{bi} = \frac{M_x Z_{bi} E_{bi} \nu_{bi}^c}{D_{11}^*}; \sigma_{bj} = \frac{M_x Z_{sj} E_{bj} \nu_{sj}^c}{D_{11}^*} , \tag{5.18}$$

где для нижнего или верхнего наиболее растянутого слоя

$$D_{11}^* / Z_{bi} E_{bi} \nu_{bi}^c = W_{pl} , \tag{5.19}$$

где W_{pl} – упруго-пластический момент сопротивления сечения растяжению.

Полагая в (5.19) $\nu_{bi} = 1; \ \nu_{sj} = 1,$ получают приведенный упругий момент сопротивления сечения W_{red}.

5.4. Расчет конструкций по прочности (по первой группе предельных состояний)

5.4.1. Расчет выполняется на расчетную нагрузку. Используются, в зависимости от вида расчетной нагрузки, представленные в п.п. 5.1 – 5.3 уравнения равновесия (5.1), а также физические соотношения (5.8), (5.11), (5.15).

5.4.2. При расчете конструкций по первой группе предельных состояний для сечений, в которых допускаются трещины, значения коэффициентов ν_{bi}^c определяются только сжатых малых элементов как ν_{bi} (ν_b для участка i) по расчетной диаграмме п.п. 4.5.1 – 4.5.3; значения $\nu_{bti} = 0$.

Значения коэффициентов ν_{sj}^{c} для элементов без трещин определяются как ν_{sj} (ν_s для арматурного стержня j) по расчетной диаграмме п.п. 4.9.1 – 4.9.2.

5.4.3. Для участков элемента с трещинами вводится диаграмма деформирования арматуры в виде: напряжения в арматуре в трещинах (σ_{sj}) – средние деформации ε_{sj} на участках между трещинами,

$$\varepsilon_{sj} = \frac{\sigma_{sj}\psi_{sj}}{E_{sj}\nu_{sj}} = \frac{\sigma_{sj}}{E_{sj}\nu_{sj}^{c}}, \tag{5.20}$$

где

$$\nu_{sj}^{c} = \frac{\nu_{sj}}{\psi_{sj}}, \tag{5.21}$$

ψ_{sj} – коэффициент, учитывающий влияние растянутого бетона на участках с трещинами на средние деформации арматуры ε_{sj}, который определяется по формуле

$$\psi_{sj} = \frac{1 - e\varphi_{sj}}{1 - e\varphi_{sj}(1 - \varphi_{dj})}, \tag{5.22}$$

e, φ_{sj} – коэффициенты: $e = 0.75$; $\varphi_{sj} = 0.8$, φ_{dj} – уровень обратный уровню деформаций $\varphi_{dj} = \frac{\varepsilon^{*}_{crj}}{\varepsilon^{*}_{sj}}$, ε^{*}_{crj} – деформация стержня арматуры в трещине в момент трещинообразования при напряжениях арматуре $\sigma_{sj} = \sigma_{crj}$ ($\varepsilon^{*}_{crj} = \frac{\sigma_{crj}}{E_{sj}\nu_{sj}}$),

ε^{*}_{sj} – текущая деформация арматуры в трещине при напряжениях σ_{sj} ($\varepsilon^{*}_{sj} = \frac{\sigma_{sj}}{E_{sj}\nu_{sj}}$).

Прочность сечения элемента считается исчерпанным, если нарушается хотя бы одно из условий равновесия (5.1), т.е. если хотя бы одна из величин M_x, M_y, N становится больше величины, указанной в правой части уравнений (5.1).

Для изгибаемых и внецентренно сжатых бетонных элементов, в которых не допускаются трещины, расчет производят с учетом работы растянутого бетона в поперечном сечении элемента до выключения из работы хотя бы одного из растянутых бетонных элементов согласно условиям диаграммы п. 4.5.3.

5.5. Расчет деформаций, перемещений и напряжений конструкций на длительное действие нагрузки (по второй группе предельных состояний)

5.5.1. Расчет выполняется на длительно действующую нормативную нагрузку на время t функционирования сооружения в сут. Используются, в зависимости от вида нормативной длительной нагрузки, представленные в п.п. 5.1 – 5.3 уравнения равновесия (5.1), а также физические соотношения (5.8), (5.11), (5.15).

5.5.2. При расчете деформаций конструкций по второй группе предельных состояний для сечений без трещин, значения коэффициентов ν_{bi}^{c}, ν_{bti}^{c} определяются по нормативной диаграмме п.п. 4.5.1 – 4.5.3 с учетом корректировки по формуле (4.24) при $t_0 < 28$ сут. и формуле (4.25) при $t_0 \geq 28$ сут., включающих замену ν_{bi}^{c}, ν_{bti}^{c} на соответственно величины $\tilde{\nu}_{bi}(t_0)$, $\tilde{\nu}_{bti}(t_0)$.

Допускается при расчете на длительное действие нагрузки использовать вместо параметров $\tilde{\nu}_{bi}(t_0)$, $\tilde{\nu}_{bti}(t_0)$ значение ν_{bi}, ν_{bti}, вычисленные по формулам п.п. 4.5.1 – 4.5.3 при замене в них модуля E_b на $E_{b\tau}$, который определяется по формуле 6.3 СП 63.13330.2012.

Значения коэффициентов ν_{sj}^{c} для элементов без трещин определяются как ν_{sj} (ν_s для арматурного стержня j) по нормативной диаграмме п.п. 4.9.1 – 4.9.2.

Для участков элемента с трещинами вводится нормативная диаграмма деформирования арматуры в виде зависимости (5.20) – напряжения в арматуре в трещинах (σ_{sj}) – средние деформации ε_{sj} на участках между трещинами с определением ν_{sj}^{c} по формулам (5.20) – (5.23). Значения величин ν_{sj}, ε_{sj}, ε_{sj}^{*}, ε_{crj}^{*}, входящих в эти формулы, определяются с использованием нормативных диаграмм деформирования арматуры.

5.6. Расчет приращений деформаций, перемещений и напряжений конструкций на действие кратковременной нагрузки (по второй группе предельных состояний)

5.6.1. Приращения деформаций конструкций от действия кратковременной нагрузки определяется в три этапа/

Этап 1. Определяются кратковременные деформации (перемещения) и напряжения от действия на конструкцию полной нормативной нагрузки по указаниям п.п. 5.4.1 – 5.4.3, где только расчетные диаграммы заменяются на нормативные и в формуле (5.22) коэффициент $\varphi_{sj} = 1$.

Этап 2. Определяются кратковременные деформации (перемещения) от действия на конструкцию кратковременно предложенной длительной нагрузки по указаниям п.п. 5.4.1 – 5.4.3, где только расчетные диаграммы заменяются на нормативные и в формуле (5.22) коэффициент $\varphi_{sj} = 1$.

Этап 3. Определяется разница деформаций (перемещения) и напряжений от расчетов на полную кратковременную нагрузку и кратковременно предложенную длительную нагрузку.

5.7. Определение полных деформаций, перемещений и напряжений от действия кратковременной и длительной нагрузки

К деформациям (перемещениям) и напряжениям длительно действующей нагрузки определяемым по указаниям п.п. 5.5.1 – 5.5.2 прибавляются приращения деформаций (перемещений) и напряжений, вычисленные по этапу 3 п.5.6.1.

5.8. Учет деформаций усадки

Используются зависимости п.п. 4.7.1; обозначим $\varepsilon_{bs}(t,t_w)$ как ε_{bs}. При этом зависимости (5.8) будут иметь вид

$$M_x = D_{11} \cdot \frac{1}{r_x} + D_{12} \cdot \frac{1}{r_y} + .D_{13} \cdot \varepsilon_o - m_x ; \quad \ddot{e}$$

$$M_y = D_{12} \cdot \frac{1}{r_x} + D_{22} \cdot \frac{1}{r_y} + D_{23} \cdot \varepsilon_o - m_y ; \qquad (5.23)$$

$$N = D_{13} \cdot \frac{1}{r_x} + D_{23} \cdot \frac{1}{r_y} + D_{33} \cdot \varepsilon_o - n \quad ,$$

где

$$m_x = \sum_i \varepsilon_{bs} A_{bi} \cdot Z_{bxi} \cdot E_b \cdot \nu_{bi}^s$$

$$m_y = \sum_i \varepsilon_{bs} A_{bi} \cdot Z_{byi} \cdot E_b \cdot \nu_{bi}^c$$

$$n = \varepsilon_{bs} \sum_i A_{bi} . E_b \cdot \nu_{bi}^c$$

Жесткости, входящие в формулу (5.23) определяются по формулам (5.9) с учетом особенностей указанных в п.п. 5.4 – 5.7, кроме этого вместо диаграммы бетона $\sigma_{bi} = E_b \cdot \nu_{bi}^c \cdot \varepsilon_{bi}$ используется диаграмма в виде $\sigma_{bi} = E_b \cdot \nu_{bi}^c (\varepsilon_{bi} - \varepsilon_{bs})$.

6. Общие критерии прочности железобетонных плоских и оболочечных элементов при совместном действии изгибающих и крутящих моментов, нормальных и касательных сил

6.1. Общие положения

6.1.1. Указания данного раздела распространяются на расчет прочности элементов различных изгибаемых в двух направлениях плит (плит перекрытий, фундаментных плит, монолитных перекрытий сложной конфигурации), также несущих стен, стен ядер жесткости, пологих оболочек и других элементов подвергнутых совместному действию изгибающих и крутящих моментов (M_x, M_y, M_{xy}), нормальных и касательных сил (N_x, N_y, N_{xy}), приложенных на уровне срединной поверхности элементов.

6.1.2. Необходимость в таком дополнении связана с тем, что методы определения прочности указанных элементов (в программах расчета они именуются оболочечными элементами) еще пока не рассматриваются в существующих нормативных документах, хотя они начинают выступать в качестве основных элементов конструкций современных зданий из монолитного железобетона.

6.1.3. Принято, что X, Y – общие для всей плиты (глобальные) ортогональные координатные оси, расположенные на ее срединной поверхности, ось Z нормальна к срединной поверхности плиты; x,y,z – аналогичные локальные (в пределах малых элементов Э, рис. 6.1. а,б) координатные оси, параллельные одноименным глобальным осям. Рассматриваются плиты, армированные прямоугольными арматурными сетками, расположенными параллельно срединной поверхности плиты у нижней или верхней ее поверхностей или одновременно у обеих поверхностей (в

зависимости от характера напряженного состояния), где A_x, A_y – площади арматурных стержней нижней сетки, соответственно параллельных осям *x,y*; S_x, S_y – соответствующие расстояния между стержнями в сетке (шаги стержней).

$$f_{sx} = A_x / S_x; \quad f_{sy} = A_y / S_y \tag{6.1}$$

- коэффициенты нижней растянутой арматуры, отнесенные к единице длины $S_i (i = x, y)$. Если нижняя арматура является сжатой, то коэффициенты армирования обозначаются f^c_{sx}, f^c_{sy} (добавляется верхний индекс «с»).

Характеристикам верхнего армирования присваиваются верхние штрихи. Так коэффициенты армирования верхней растянутой сетки обозначаются

$$f'_{sx} = A'_x / S'_x; f'_{sy} = A'_y / S'_y \tag{6.2}$$

где A'_x, A'_y – площади арматурных стержней верхней стенки.

Если верхняя арматура является сжатой, то коэффициенты армирования (6.2) обозначаются f'^c_{sx}, f'^c_{sy}.

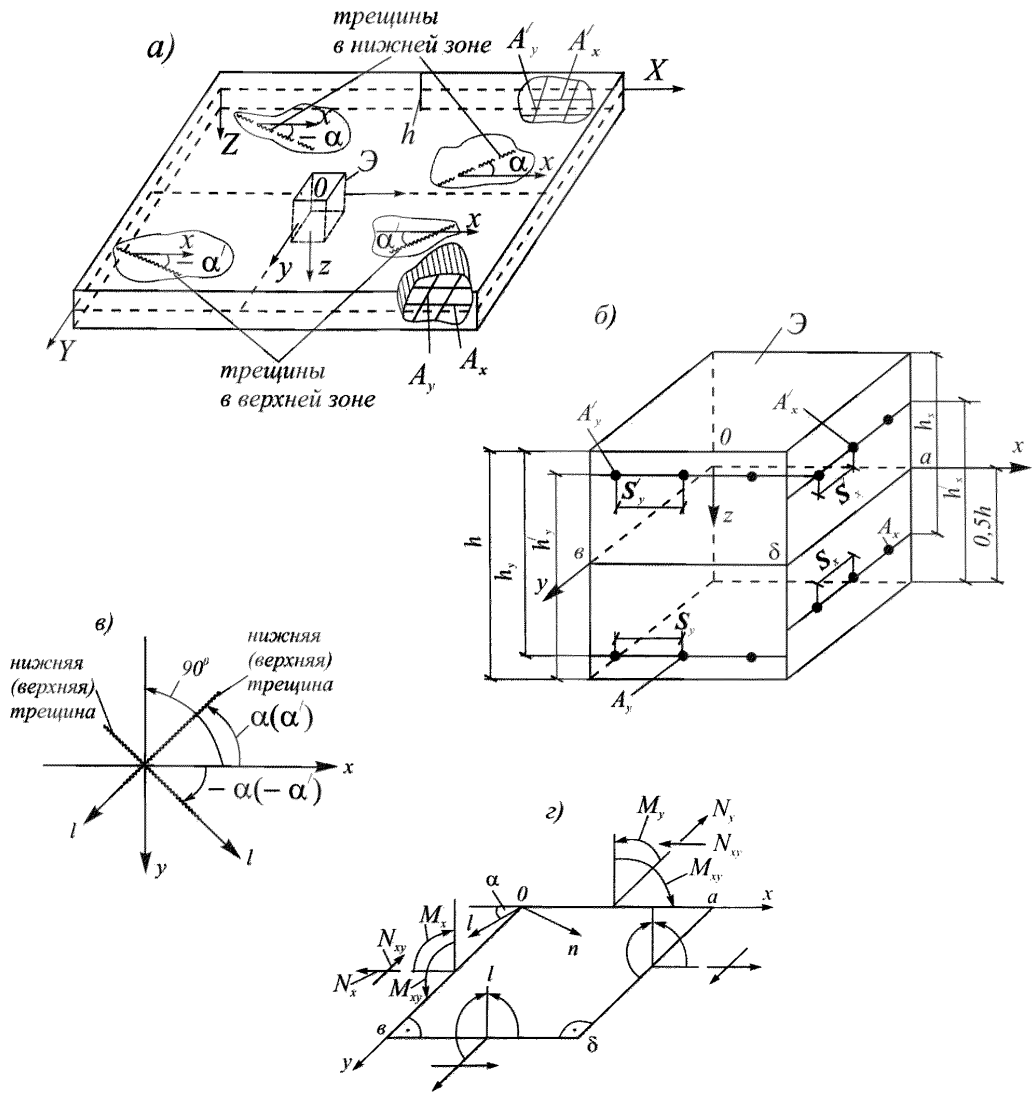

Рис. 6.1. Характеристики фрагмента плиты:

а) фрагмент плиты с показом верхнего и нижнего армирования и положительных и отрицательных углов наклона трещин; б) характеристики армирования элемента *(Э)* фрагмента плиты; в) схема отсчета положительных и отрицательных углов наклона площадок (трещин) разрушения; г) принятые положительные направления моментов и нормальных сил, приложенных на уровне срединной поверхности плиты (принято классическое, а не тензорное, обозначение моментов).

Другие характеристики плиты (рис.6.1.б): h – толщина плиты; $h_x(h_x^{'})$, $h_y(h_y^{'})$ – расстояния от центров тяжести стержней нижней (верхней) сетки до верхней

(нижней) поверхности плиты (полезные высоты): $a_{sx}\,(a'_{sx})$, $a_{sy}\,(a'_{sy})$ – расстояния от указанных центров тяжести стержней нижней (верхней) сеток до ближайшей поверхности плиты:

$$a_{sx} = h - h_x; a_{sy} = h - h_y; a'_{sx} = h - h'_x;$$

$$a'_{sy} = h - h'_y, \qquad (6.3)$$

Здесь и ниже *x* и *y* в индексах указывают на направления арматурных стрежней в сетках. Средние полезные высоты составляют

$$h_0 = (h_x + h_y)/2; h'_0 = (h'_x + h'_y)/2 \qquad (6.4)$$

Если у нижней и верхней поверхностей плиты устанавливается по нескольку сеток, то коэффициенты f_{sx} и f_{sy} (f'_{sx}, f'_{sy}) или $f^c{}_{sx}, f^c{}_{sy}$, ($f'^c{}_{sx}, f'^c{}_{sy}$) представляют сумму аналогичных коэффициентов всех сеток, а значения $h_x, h_y (h'_x, h'_y)$ – расстояния от соответствующих поверхностей до центров тяжести сумм соответствующих одноименных коэффициентов f_{sx}, f_{sy}, f'_{sx}, f'_{sy} или $f^c{}_{sx}, f^c{}_{sy}$, $f'^c{}_{sx}, f'^c{}_{sy}$. Указанные правила для растянутых сеток действуют, пока толщины пакетов растянутых сеток не превышают соответственно $0{,}3h_0$ и $0{,}3h'_0$. Коэффициенты армирования сеток, выходящие заграницы $0{,}3h_0$, $0{,}3h'_0$ учитываются в пакетах с коэффициентом 0,8 до величины пакета $0{,}45\,h_0$ и $0{,}45\,h'_0$.

6.1.4. Положительные направления моментов (M_x, M_y, M_{xy}) и сил (N_x, N_y, N_{xy}) показаны на рис. 6.1г. Моменты и силы являются погонными (вычисляются на вертикальных гранях элементов шириной $b = 1$).

Рассматриваются два вида критериев прочности.

Критерии первого вида оценивают разрушение элементов вследствие развития значительных пластических деформаций в арматуре, являясь критериями пластического разрушения по арматуре.

Критерии второго вида оценивают разрушение элемента по бетону до наступления текучести в арматуре. Критерий, характеризующие такое разрушение, относятся к критериям прочности по сжатому бетону.

6.1.5. На первом этапе выполняются некоторые предварительные вычисления. В первую очередь вычисляются ядровые моменты:

- относительно поверхности верхних ядровых точек,

$$M_{\text{я}x} = M_x + N_x r_{\text{я}}; \quad M_{\text{я}y} = M_y + N_y r_{\text{я}}; \quad M_{\text{я},xy} = M_{xy} + N_{xy} r_{\text{я}}, \tag{6.5}$$

- относительно нижней поверхности ядровых точек,

$$M'_{\text{я}x} = -M_x + N_x r'_{\text{я}}; \; M'_{\text{я}y} = -M_y + N_y r'_{\text{я}}; \; M'_{\text{я},xy} = -M_{xy} + N_{xy} r'_{\text{я}}, \tag{6.6}$$

где $r_{\text{я}} = r'_{\text{я}} = h/6$ – расстояние от срединной поверхности до нижней и верхней ядровых поверхностей.

После этого определяются главные ядровые моменты:

- относительно верхней ядровой поверхности,

$$M_{\text{я}x\frac{\text{макс}}{\text{мин}}} = \frac{M_{\text{я}x} + M_{\text{я}y}}{2} \pm \sqrt{\frac{(M_{\text{я}x} - M_{\text{я}y})^2}{4} + M^2_{\text{я}xy}}, \tag{6.7}$$

- относительно нижней ядровой поверхности,

$$M'_{\text{я}x\frac{\text{макс}}{\text{мин}}} = \frac{M'_{\text{я}x} + M'_{\text{я}y}}{2} \pm \sqrt{\frac{(M'_{\text{я}x} - M'_{\text{я}y})^2}{4} + (M'_{\text{я}xy})^2}. \tag{6.8}$$

Определяются углы наклона площадок приложения главных ядровых моментов $\alpha(\alpha')$. Здесь и ниже в скобках указаны углы наклона главных площадок приложения максимальных моментов со штрихами.

Угол наклона вертикальной площадки, на которой приложен момент $M_{\text{я макс}}$ ($M'_{\text{я макс}}$) к оси x, обозначается $\alpha(\alpha')$. Если ввести на уровне срединной поверхности ортогональные оси n и l (n' и l'), направив ось $n(n')$ по нормали к площадке $M_{\text{я макс}}$ ($M'_{\text{я макс}}$), а ось l (l') – вдоль этой площадки (или по нормали к площадке $M_{\text{я макс}}$ ($M'_{\text{я мин}}$)), то $\alpha(\alpha')$ – это угол между осью x и осью $l(l')$. Схема отсчета положительных и отрицательных значений углов показана на рис. 6.1 а, в, причем

$$\left.\begin{aligned} ctg\,\alpha &= \frac{M_{я\,макс} - M_{ях}}{M_{я\,ху}}; \\ tg\,\alpha &= \frac{M_{я\,макс} - M_{яу}}{M_{я\,ху}}, \end{aligned}\right\} \qquad (6.9)$$

аналогично

$$\left.\begin{aligned} ctg\,\alpha' &= \frac{M'_{я\,макс} - M'_{ях}}{M'_{я\,ху}}; \\ tg\,\alpha' &= \frac{M'_{я\,макс} - M'_{яу}}{M'_{я\,ху}}. \end{aligned}\right\} \qquad (6.10)$$

В дальнейших вычислениях на абсолютные значения углов α, α' накладываются дополнительные ограничения вида:

$$15^\circ \le |\alpha| \le 75^\circ; \; 15^\circ \le |\alpha'| \le 75^\circ. \qquad (6.11)$$

Углы α, α', вычисленные по формулам (6.9) – (6.11), принимаются ниже за углы наклона трещин (площадок) разрушения.

Представленные критерии прочности и формулы по подбору арматуры зависят от схем образования трещин разрушения.

Различают три основных схемы образования трещин разрушения:

1) Схема «Н» (трещины разрушения образуются на нижней поверхности элемента);
2) Схема «В» (трещины разрушения образуются на верхней поверхности плиты);
3) Схема «НВ» (трещины разрушения образуются одновременно на нижней и верхней поверхностях плиты).

Кроме этого, имеется схема «С», когда трещины не образуются, но возможно разрушение элемента от сжатия.

6.2. Критерии прочности для схем разрушения «Н»

6.2.1. При расчете конструкций по первой группе предельных состояний прочность бетона на растяжение не учитывается. В связи с этим схема «Н» – разрушения по нижним трещинам реализуется, если

$$M_{\text{я макс}} \geq 0, M'_{\text{я макс}} < 0 . \quad (6.12)$$

Характеристики схемы «Н»: трещина разрушения расположена в нижней зоне, α угол наклона трещин к оси x; f_{sx}, f_{sy} – коэффициенты нижней растянутой арматуры, расположенной соответственно вдоль осей x и y; f'^{c}_{sx}, f'^{c}_{sy} – соответствующие коэффициенты армирования верхней сжатой арматуры, (расположенной в сжатой зоне элемента); R'_{scx}, R'_{scy} – расчетные сопротивления (R_{sc}) верхней сжатой арматуры соответственно x и y направлений; R_{sx}, R_{sy} – расчетные сопротивления нижней растянутой арматуры; $x_{тх}, x_{ту}$ – высоты сжатой зоны.

При проверке прочности возможны два случая: случай 1Н и случай 2Н. Эти случаи различаются следующим образом.

Определяются высоты сжатой зоны бетона над нижними трещинами разрушения:

$$x_{тх} = \frac{R_{sx} f_{sx} - N_x - N_{xy} ctg\,\alpha - R'_{scx} f'^{c}_{sx}}{R_b};$$
$$x_{ту} = \frac{R_{sy} f_{sy} - N_y - N_{xy} tg\,\alpha - R'_{scy} f'^{c}_{sy}}{R_b}, \quad (6.13)$$

где угол α определяется в первом приближении по формулам (6.9), (6.11). В окончательной проверке этот угол уточняется по представленной ниже формуле (6.20).

На значения $x_{тх}, x_{ту}$, определяемые по формулам (6.13), накладывается ограничение:

$$x_{тх} \geq 2a'_{sx}; \quad x_{ту} \geq 2a'_{sy}. \quad (6.14)$$

Определяются граничные значения высот сжатой зоны

$$x_{Rx} = \xi_R h_x; \quad x_{Ry} = \xi_R h_y, \quad (6.15)$$

где ξ_R – параметр граничной высоты, определяемый по указаниям п.8.1.6 СП 63.13330.2012.

Проверяется выполнимость условий

$$x_{тх} \le \xi_R h_x; \quad x_{ту} \le \xi_R h_y . \tag{6.16}$$

Если условия (6.16) выполняются, то реализуется случай 1Н, иначе переходят к рассмотрению случая 2Н.

6.2.2. Критерии прочности для случая 1Н

Должны выполняться два вида критериев прочности:

1) по растянутой арматуре в нижних трещинах разрушения,

2) по бетону сжатой зоны над трещинами.

Критерий прочности по арматуре записывается в виде следующих неравенств:

$$\left.\begin{aligned} &(M_{тх} - M_x - N_x Z_{bx})(M_{ту} - M_y - N_y Z_{by}) - \\ &- (M_{ху} + N_{xy} Z_{bx})(M_{ху} + N_{xy} Z_{by}) \ge 0; \\ &(M_{тх} - M_x - N_x Z_{bx}) \ge 0; \\ &(M_{ту} - M_y - N_y Z_{by}) \ge 0, \end{aligned}\right\} \tag{6.17}$$

где

$$\begin{aligned} M_{тх} &= R_{sx} f_{sx} (h_x - 0{,}5 x_{тх}) + R'_{scx} f'^{c}_{sx} (0{,}5 x_{тх} - a'_{sx}), \\ M_{ту} &= R_{sy} f_{sy} (h_y - 0{,}5 x_{ту}) + R'_{scy} f'^{c}_{sy} (0{,}5 x_{ту} - a'_{sy}), \end{aligned} \tag{6.18}$$

значения $x_{тх}$ и $x_{ту}$ вычисляются по формулам (6.13), (6.14);

Z_{bx}, Z_{by} – расстояния, от срединной поверхности до средины высот сжатой зоны,

$$Z_{bx} = 0{,}5h - 0{,}5x_{тх}; \quad Z_{by} = 0{,}5h - 0{,}5x_{ту}. \tag{6.19}$$

Окончательный угол наклона нижних трещин разрушения α (он обозначен α^*) зависит от реально принятого армирования и определяется по формуле

$$ctg^2 \alpha^* = \frac{(M_{ту} - M_y - N_y Z_{by})(M_{ху} + N_{xy} Z_{bx})}{(M_{ту} - M_x - N_x Z_{bx})(M_{ху} + N_{xy} Z_{by})} . \tag{6.20}$$

Допускается, чтобы угол α^* отличался от угла α, определяемого по формулам (6.9), (6.11), максимум на 15°. При этом наиболее рациональным (с точки зрения расхода арматуры) считаются отклонения, приближающие α^* по абсолютной величине к 45°. Заметим, что формула (6.20) является точной в случае, если первый критерий (6.17) выполняется в виде равенства. В случае соблюдения первого условия в виде неравенства (> 0) следует предварительно умножить все усилия (M_x,

M_y, M_{xy}, N_x, N_y, N_{xy}) на коэффициент k_M так, чтобы первое условие (6.17) выполнялось в виде равенства. После этого в (6.20) вместо M_x, M_y, M_{xy}, N_x, N_y, N_{xy} подставляются величины $M_x k_M$, $M_y k_M$, $M_{xy} k_M$, $N_x k_M$, $N_y k_M$, $N_{xy} k_M$.

Критерий прочности по бетону сжатой зоны записывается в виде следующих неравенств:

$$\left.\begin{aligned} &(M_{bx} - M_x + N_x(h_x - 0{,}5h))(M_{by} - M_y + N_y(h_y - 0{,}5h)) - \\ &- (M_{xy} - N_{xy}(h_x - 0{,}5h))(M_{xy} - N_{xy}(h_y - 0{,}5h)) \geq 0; \\ &(M_{xy} - M_x + N_x(h_x - 0{,}5h)) \geq 0; \\ &(M_{by} - M_y + N_y(h_y - 0{,}5h)) \geq 0, \end{aligned}\right\} \qquad (6.21)$$

где

$$\begin{aligned} M_{bx} &= R_b x_{Rx}(h_x - 0{,}5x_{Rx}) + f'^{c}_{sx} R'_{scx} Z_{sx}, \\ M_{by} &= R_b x_{Ry}(h_y - 0{,}5x_{Ry}) + f'^{c}_{sy} R'_{scy} Z_{sy}, \end{aligned} \qquad (6.22)$$

здесь Z_{sx}, Z_{sy} – расстояния между центрами тяжести соответственно арматуры f_{sx} и f'^{c}_{sx}, f_{sy} и f'^{c}_{sy}:

$$Z_{sx} = h_x - a'_{sx}; \; Z_{sy} = h_y - a'_{sy}. \qquad (6.23)$$

Кроме прочности бетона на сжатие над трещинами разрушения должна проверяться прочность полос бетона, расположенных вдоль нижних трещин, на сжатие по критерию

$$\begin{aligned} &(M_{пx} + M_x + N_x(0{,}5h - a'_{sx}))(M_{пy} + M_y + N_y(0{,}5h - a'_{sy})) - \\ &- (M_{xy} + N_{xy}(0{,}5h - a'_{sx})) \times (M_{xy} + N_{xy}(0{,}5h - a'_{sy})) \geq 0; \end{aligned} \qquad (6.24)$$

где

$$\begin{aligned} M_{пx} &= \gamma_п R_b h'_x \xi_R (h'_x - 0{,}5h'_x \xi_R) - \gamma_п R_{sx} f_{sx} (h'_x - a_{sx}); \\ M_{пy} &= \gamma_п R_b h'_y \xi_R (h'_y - 0{,}5h'_y \xi_R) - \gamma_п R_{sy} f_{sy} (h'_y - a_{sy}), \end{aligned} \qquad (6.25)$$

здесь

$$\gamma_п = 0{,}75 \quad . \qquad (5.26)$$

В критерии (6.24) множители в скобках, содержащие $M_{пx}$, $M_{пy}$, также не должны быть отрицательными.

6.2.3. Критерии прочности для случая 2Н

Если для высот сжатой зоны $x_{тх}$ и $x_{ту}$, вычисляемых по формулам (6.13), нарушаются условия (6.16), то в формулы (6.17) – (6.26) необходимо вносить следующие изменения:

1) в формулах (6.13), (6.18), (6.25) R_{sx} заменяется на $\hat{\sigma}_{sx}$, R_{sy} – на $\hat{\sigma}_{sy}$, где $\hat{\sigma}_{sx}$, $\hat{\sigma}_{sy}$ вычисляются по формулам:

$$\hat{\sigma}_{sx} = \left(2\frac{1 - x_{тх}/h_x}{1 - \xi_R} - 1\right)R_{sx};$$
$$\hat{\sigma}_{sy} = \left(2\frac{1 - x_{ту}/h_y}{1 - \xi_R} - 1\right)R_{sy} \qquad (6.27)$$

(здесь $\xi_R \le x_{тх}/h_x \le 1$, $\xi_R \le x_{ту}/h_y \le 1$).

2) в формулах (6.22) высоты x_{Rx}, x_{Ry} заменяются соответственно на значения $x_{тх}$, $x_{ту}$, вычисляемые по формулам (6.13), в которых R_{sx} заменяется на $\hat{\sigma}_{sx}$, R_{sy} – на $\hat{\sigma}_{sy}$.

Кроме этого, в случае 2Н значение (6.26) для коэффициента $\gamma_п$ заменяется на значение, вычисляемое по формуле:

$$1 \ge \gamma_п = \left(0{,}75 + 0{,}25\frac{R_s - \hat{\sigma}_s}{R_s}\right), \qquad (6.28)$$

здесь

$$\hat{\sigma}_s = 0{,}5(\hat{\sigma}_{sx} + \hat{\sigma}_{sy}); \quad R_s = 0{,}5(R_{sx} + R_{sy}).$$

6.3. Критерии прочности для схем разрушения «В»

6.3.1. Схема разрушения по верхним трещинам (схема «В») реализуется, если

$$M_{я\ макс} \le 0;\ M'_{я\ макс} \ge 0. \qquad (6.29)$$

Характеристика схемы «В»: трещины разрушения расположены в верхней зоне, α' – угол наклона верхних трещин к оси x; f'_{sx}, f'_{sy} – коэффициенты верхней растянутой арматуры, расположенной соответственно вдоль осей x, y; f^c_{sx}, f^c_{sy} – соответствующие коэффициенты армирования нижней сжатой арматуры

(расположенной в нижней сжатой зоне вдоль осей x, y); x'_{TX} , x'_{TY} – высоты нижней сжатой зоны; R_{scx} , R_{scy} – расчетные сопротивления (R_{sc}) нижней сжатой арматуры (обычно $R_{scx} = R_{scy} = R_{sc}$); R'_{sx} , R'_{sy} – расчетные сопротивления (R_s) верхней растянутой арматуры соответственно x и y направлений (обычно $R_{sx} = R_{sy} = R_s$).

Высоты нижней сжатой зоны, расположенной под трещиной разрушения, определяются по формулам:

$$x'_{Tx} = \frac{R'_{sx} f'_{sx} - N_x - N_{xy} ctg\,\alpha' - R_{scx} f^c_{sx}}{R_b};$$
$$x'_{Ty} = \frac{R'_{sy} f'_{sy} - N_y - N_{xy} tg\,\alpha' - R_{scy} f^c_{sy}}{R_b}. \qquad (6.30)$$

На значения x'_{Ty} , x'_{Tx}, вычисленные по формулам (6.30) накладываются ограничения:

$$x'_{Tx} \geq 2a_{sx}; \quad x'_{Ty} \geq 2a_{sy} \qquad (6.31)$$

Возможны два случая: случай 1В, случай 2В.

Случай 1В реализуется, если

$$x'_{Tx} \leq x'_{Rx}; x'_{Ty} \leq x'_{Ry}, \qquad (6.32)$$

где

$$x'_{Rx} = \xi_R h'_x, x'_{Ry} = \xi_R h'_y \qquad (6.33)$$

Если условия (6.32) нарушается, то реализуется случай 2В.

6.4. Критерии прочности для случая 1В

6.4.1. Должны удовлетворяться два вида критериев прочности: 1) по арматуре в верхних трещинах разрушения (трещинах текучести арматуры), 2) по бетону сжатой зоны над трещинами.

Прочность элемента по арматуре считается обеспеченной, если выполняется следующие критериальные неравенства:

$$
\begin{aligned}
&(M'_{\text{тх}} + M_x - N_x Z'_{bx})(M'_{\text{ту}} + M_y - N_y Z'_{by}) - \\
&- (M_{\text{ху}} - N_{xy} Z'_{bx})(M_{\text{ху}} - N_x Z'_{by}) \geq 0; \\
&(M'_{\text{тх}} + M_x - N_x Z'_{bx}) \geq 0; \\
&(M'_{\text{ту}} + M_y - N_y Z'_{by}) \geq 0,
\end{aligned}
\tag{6.34}
$$

где $M'_{\text{тх}}, M'_{\text{ту}}$ – предельные моменты, воспринимаемые арматурой:

$$
\begin{aligned}
M'_{\text{тх}} &= R'_{sx} f'_{sx} (h'_x - 0{,}5 x'_{\text{тх}}) + R_{scx} f^c_{sx} (0{,}5 x'_{\text{тх}} - a_x); \\
M'_{\text{ту}} &= R'_{sy} f'_{sy} (h'_y - 0{,}5 x'_{\text{ту}}) + R_{scy} f^c_{sy} (0{,}5 x'_{\text{ту}} - a_{sy}),
\end{aligned}
\tag{6.35}
$$

величины Z'_{bx}, Z'_{by} определяются по формулам:

$$
Z'_{bx} = 0{,}5h - 0{,}5 x'_{Tx}, \; Z'_{by} = 0{,}5h - 0{,}5 x'_{Ty}. \tag{6.36}
$$

Окончательный угол наклона нижних трещин разрушения (он обозначен α'^{*}) зависит от реально принятого армирования и определяется по формуле

$$
ctg^{\,2}\alpha'^{*} = \frac{(M'_{\text{ту}} + M_y - N_y Z'_{by})(M_{\text{ху}} - N_{xy} Z'_{bx})}{(M'_{\text{тх}} + M_x - N_x Z'_{bx})(M_{\text{ху}} - N_{xy} Z'_{by})}. \tag{6.37}
$$

Допускается, чтобы угол α'^{*} отличался по абсолютной величине от угла α, определяемого по формулам (6.10), (6.11) максимум на 15°. При этом наиболее рациональным (с точки зрения расхода арматуры) считаются отклонения, приближающие α'^{*} по абсолютной величине к 45°.

Заметим, что здесь также формула (6.37) является точной в случае, когда первый критерий (6.34) выполняется в виде равенства (= 0). В случае соблюдения первого условия (6.34) в виде неравенства (> 0), следует предварительно умножить все усилия (M_x, M_y, M_{xy}, N_x, N_y, N_{xy}) на коэффициент $k_M > 1$, так чтобы первое условие (5.34) выполнялось в виде равенства, а затем в (6.37) вместо M_x, M_y, M_{xy}, N_x, N_y, N_{xy} подставляются величины $k_M M_x$, $k_M M_y$, $k_M M_{xy}$, $k_M N_x$, $k_M N_y$, $k_M N_{xy}$.

Прочность по бетону сжатой зоны считается обеспеченной, если одновременно выполняются следующие критериальные неравенства:

$$\left.\begin{array}{l}(M'_{bx}+M_x+N_x(h'_x-0{,}5h))(M'_{by}+M_y+N_y(h'_y-0{,}5h))-\\ -(M_{xy}+N_{xy}(h'_x-0{,}5h))\times(M_{xy}+N_{xy}(h'_y-0{,}5h))\ge 0;\\ (\hat{M}'_{bx}+M_x+N_x(h'_x-0{,}5h))\ge 0;\\ (M'_{by}+M_y+N_y(h'_y-0{,}5h))\ge 0,\end{array}\right\} \quad (6.38)$$

где M'_{bx}, M'_{by} – предельные моменты, воспринимаемые бетоном и арматурой сжатой зоны:

$$\begin{aligned} M'_{bx} &= R_b x'_{Rx}(h'_{ox}-0{,}5x'_{Rx})+R_{scx}f^c_{sx}Z'_{sx},\\ M'_{by} &= R_b x'_{Ry}(h'_{oy}-0{,}5x'_{Ry})+R_{scy}f^c_{sy}Z'_{sy}, \end{aligned} \quad (6.39)$$

Z'_{sx}, Z'_{sy} – расстояния между центрами тяжести арматуры f'_{sx} и f^c_{sx}, f'_{sy} и f^c_{sy}, вычисляемые по формулам:

$$Z'_{sx}=(h'_x-a_{sx});\quad Z'_{sy}=(h'_y-a_{sy}). \quad (6.40)$$

Кроме прочности бетона на сжатие, под верхними трещинами разрушения должна проверяться прочность полос бетона, расположенных вдоль верхних трещин, на сжатие по критерию:

$$\begin{array}{l}(M'_{\text{пх}}-M_x+N_x(0{,}5h-a_{sx}))(M'_{\text{пу}}-M_y+N_y(0{,}5h-a_{sy}))-\\ -(M_{\text{xy}}+N_{xy}(0{,}5h-a_{sx}))\times(M_{\text{xy}}+N_{xy}(0{,}5h-a_{sy}))\ge 0,\end{array} \quad (6.41)$$

где

$$\begin{aligned} M'_{\text{пх}} &= \gamma'_{\text{п}}R_b h_x\xi_R(h_x-0{,}5h_x\xi_R)-\gamma'_{\text{п}}R'_{sx}f'_{sx}(h_x-a'_{sx});\\ M'_{\text{пу}} &= \gamma'_{\text{п}}R_b h_y\xi_R(h_y-0{,}5h_y\xi_R)-\gamma'_{\text{п}}R'_{sy}f'_{sy}(h_y-a'_{sy}), \end{aligned} \quad (6.42)$$

$$\gamma'_{\text{п}}=0{,}75\ . \quad (6.43)$$

В критерии (6.41) множители в скобках, содержащие $M'_{\text{пх}}$ и $M'_{\text{пу}}$, также не должны быть отрицательными.

6.5. Критерии прочности для случая 2В

6.5.1. Представленные выше критерии прочности (6.34 – 6.43) относятся к случаю 1В, когда для высот сжатой зоны x'_{Ty}, x'_{Tx} выполняется условие (6.32). Если условие (6.32) нарушается, следует увеличивать толщину элемента или переходить к случаю 2В. При этом все расчетные формулы случая 1В сохраняют силу, однако: 1)

вместо расчетных сопротивлений арматуры растяжению R'_{sx}, R'_{sy} следует вводить соответственно величины $\hat{\sigma}'_{sx} < R'_{sx}$ и $\hat{\sigma}'_{sy} < R'_{sy}$, которые определяются по формулам

$$\hat{\sigma}'_{sx} = \left(2\frac{1 - x'_{тх}/h'_x}{1 - \xi_R}\right)R'_{sx}; \hat{\sigma}'_{sy} = \left(2\frac{1 - x'_{ту}/h'_y}{1 - \xi_R}\right)R'_{sy} \quad (6.44)$$

(здесь $\xi_R \le x'_{тх}/h'_x \le 1$; $\xi_R \le x'_{ту}/h'_y \le 1$).

Кроме этого, в случае 2В:

1) значение (6.43) для коэффициента $\gamma'_п$ заменяется на значение, вычисляемое по формуле

$$1 \ge \gamma'_п = \left(0{,}75 + 0{,}25\frac{R'_s - \hat{\sigma}'_s}{R'_s}\right), \quad (6.45)$$

здесь

$$\hat{\sigma}'_s = 0{,}5(\hat{\sigma}'_{sx} + \hat{\sigma}'_{sy}); R'_s = 0{,}5(R'_{sx} + R'_{sy});$$

2) в (6.39) величины x'_{Rx}, x'_{Ry} заменяются на значения $x'_{тх}, x'_{ту}$, которые вычисляются по формулам (6.30) при замене R'_{sx} на $\hat{\sigma}'_{sx}$, R'_{sy} на $\hat{\sigma}'_{sy}$.

6.6. Критерии прочности элементов для схем разрушения «НВ»

6.6.1. Схема разрушения при наличии одновременно верхних и нижних трещин (на верхней и нижней поверхностях элемента) реализуется, если выполняются одновременно неравенства

$$M_{я\,макс} > 0; M'_{я\,макс} > 0. \quad (6.46)$$

Проверка прочности элементов с этой схемой трещин осуществляется по формулам случая 1Н и случая 1В с рядом особенностей. Главная особенность заключается в том, что нижняя (с коэффициентами f_{sx}, f_{sy}) и верхняя (с коэффициентами f'_{sx}, f'_{sy}) арматура работают на растяжение. Установка арматуры на сжатие f'^{c}_{sx}, f'^{c}_{sy} (в верхней зоне) и f^{c}_{sx}, f^{c}_{sy} (в нижней зоне) плиты не требуется.

6.6.2. Для проверки прочности элементов со схемой трещин «НВ» используются критерии прочности случаев «1Н» и «1В» с учетом ряда

особенностей. Принимаются справедливыми критерии прочности (6.17) по нижней арматуре, однако в формулах (6.18) для предельных моментов $M_{тх}$ и $M_{ту}$ выполняются следующие замены:

$$\begin{aligned} &(+R'_{scx}\, f'^{c}_{sx}\,(0.5\ x_{тх} - a'_{sx})) \quad \text{заменяется} \quad \text{на} \quad (-R'_{sx}\, f'_{sx}\,(0.5\ x_{тх} - a'_{sx})); \\ &(+R'_{scy}\, f'^{c}_{sy}\,(0.5\ x_{ту} - a'_{sy})) \quad \text{заменяется} \quad \text{на} \quad (-R'_{sy}\, f'_{sy}\,(0.5\ x_{ту} - a'_{sy})). \end{aligned} \tag{6.47}$$

Величины $x_{тх}$ и $x_{ту}$, входящие в (6.18), вычисляются по формулам (6.13), (6.14), в которых

$$\begin{aligned} &(-R'_{scx}\, f'^{c}_{sx}) \quad \text{заменяется} \quad \text{на} \quad (+R'_{sx}\, f'_{sx}); \\ &(-R'_{scy}\, f'^{c}_{sy}) \quad \text{заменяется} \quad \text{на} \quad (+R'_{sy}\, f'_{sy}). \end{aligned} \tag{6.48}$$

Принимаются справедливыми критерии прочности (6.21) по бетону верхней сжатой зоны над нижними трещинами, однако входящие в эти критерии предельные моменты M_{bx} и M_{by} определяются по формулам:

$$\begin{aligned} M_{bx} &= 0.75\, R_b\, x_{Rx}\,(h_x - 0.5\, x_{Rx}) - f'_{sx}\, R_{sx}\, Z_{sx}; \\ M_{by} &= 0.75\, R_b\, x_{Rxy}\,(h_y - 0.5\, x_{Ry}) - f'_{sy}\, R_{sy}\, Z_{sy}, \end{aligned} \tag{6.49}$$

здесь Z_{sx}, Z_{sy} – расстояния между центрами тяжести соответственно растянутой арматуры f_{sx} и f'_{sx}, f_{sy} и f'_{sy} (определяются по формулам (6.23)).

Принимаются справедливыми критерии прочности (6.34) по верхней растянутой арматуре, однако входящие в критерии (6.34) предельные моменты $M'_{тх}$ и $M'_{ту}$, воспринимаемые верхней растянутой арматурой, определяются по формулам:

$$\begin{aligned} M'_{тх} &= R'_{sx}\, f'_{sx}\,(h'_x - 0.5\, x'_{тх}) - R_{sx}\, f_{sx}\,(0.5\, x'_{тх} - a_{sx}); \\ M'_{ту} &= R'_{sy}\, f'_{sy}\,(h'_y - 0.5\, x'_{ту}) - R_{sy}\, f_{sy}\,(0.5\, x'_{ту} - a_{sy}). \end{aligned} \tag{6.50}$$

Входящие в эти формулы значения $x'_{тх}$ и $x'_{ту}$ вычисляются по формулам (6.30), в которых

$$\begin{aligned} &(-R_{scx}\, f^{c}_{sx}) \quad \text{заменяется} \quad \text{на} \quad (+R_{sx}\, f_{sx}); \\ &(-R_{scy}\, f^{c}_{sy}) \quad \text{заменяется} \quad \text{на} \quad (+R_{sy}\, f_{sy}). \end{aligned} \tag{6.51}$$

Принимаются справедливыми критерии прочности (6.38) по бетону сжатой зоны под верхними трещинами, однако входящие в эти критерии предельные моменты M_{bx} и M_{by} определяются по формулам:

$$M'_{bx} = 0.75\, R_b x'_{Rx} (h'_x - 0.5 x'_{Rx}) - R_{sx} f_{sx} Z'_{sx};$$
$$M'_{by} = 0.75\, R_b x'_{Ry} (h'_y - 0.5 x'_{Ry}) - R_{sy} f_{sy} Z'_{sy}. \qquad (6.52)$$

Значения x_{Rx}, x_{Rx} и x'_{Rx}, x'_{Rx} вычисляются по формулам (6.15), (6.33).

6.7. Критерии прочности элементов для схемы разрушения «С»

6.7.1. К схеме «С» относится разрушение элементов, для которых выполняются условия двухосного сжатия:

$$M_{я\ макс} < 0; M'_{я\ макс} < 0. \qquad (6.53)$$

Естественно, при этом

$$M_{я\ мин} < 0; M'_{я\ мин} < 0. \qquad (6.54)$$

Различаются два случая разрушения:

случай 1 (разрушение по площадке действия $M_{я\ мин}$) при

$$M_{я\ мин} < M'_{я\ мин}; \qquad (6.55)$$

случай 2 (разрушение по площадке действия $M'_{я\ мин}$) при

$$M_{я\ мин} > M'_{я\ мин}. \qquad (6.56)$$

Для исключения ошибок выполняется одновременно проверка прочности по обоим случаям.

Коэффициенты армирования нижней зоны обозначаются f^c_{sx}, f^c_{sy} (при расчете по первому случаю) и f_{sx}, f_{sy} (при расчете по второму случаю). В случае схемы «С» эти обозначения указывают на одни и те же величины коэффициентов нижнего армирования. Аналогично, коэффициенты армирования верхней зоны обозначаются f'^c_{sx}, f'^c_{sy} (при расчете по второму случаю) и f'_{sx}, f'_{sy} (при расчете по первому случаю).

6.8. Критерий прочности элементов для схемы «С» в случае 1

6.8.1. Реальные высоты нижней сжатой зоны бетона определяется по формулам:

$$x'_{тх} = \frac{N_{xy} tg\,\alpha - N_x - f^c_{sx} R_{scx} + f'_{sx} \hat{\sigma}'_{sx}}{R_b};$$

$$x'_{ту} = \frac{N_{xy} ctg\,\alpha - N_y - f^c_{sy} R_{scy} + f'_{sy} \hat{\sigma}'_{sy}}{R_b}, \qquad (6.57)$$

$$(x'_{тх} \le h'_{0x}; x'_{ту} \le h'_{0y}),$$

где напряжения $\hat{\sigma}'_{sx}$, $\hat{\sigma}'_{sy}$ вычисляются по формулам (6.44).

Для случая сжатия величины $\hat{\sigma}'_{sx}$, $\hat{\sigma}'_{sy}$ получаются отрицательными.

Совместное решение (6.44) и (6.57) выполняется последовательными приближениями. В первом приближении в (6.44) подстапвляются величины $x'_{тх}$, $x'_{ту}$, вычислямые по формулам

$$\hat{x}'_{тx} = \xi_R h'_x + (h'_x - \xi_R h'_x)\eta_M,$$
$$\hat{x}'_{ту} = \xi_R h'_y + (h'_x - \xi_R h'_x)\eta_M, \qquad (6.58)$$

где

$$\eta_M = M'_{я\ макс} / M_{я\ мин}. \qquad (6.59)$$

Проверка прочности нижней сжатой зоны бетона выполняется по критерию (6.38), где следует принимать:

$$M'_{bx} = (h'_x - 0{,}5\hat{x}'_{тx}) R_b x'_{тх} + f^c_{sx} R_{scx} Z'_{sx};$$
$$M'_{by} = (h'_y - 0{,}5\hat{x}'_{ту}) R_b x'_{ту} + f^c_{sy} R_{scy} Z'_{sy}, \qquad (6.60)$$

здесь $x'_{тх}, x'_{ту}$ вычисляются по формулам (6.57);

Z'_{sx}, Z'_{sy} – по формулам (6.40).

Реальный угол наклона нижних площадок разрушения (он обозначен α'^*) зависит от реально принятого нижнего армирования и определяется по формуле:

$$tg^2\alpha'^* = \frac{(M'_{bx} + M_x + N_x Z_{bx})(M_{xy} + N_y Z_{by})}{(M'_{by} + M_y + N_y Z_{bx})(M_{xy} + N_{xy} Z_{by})}, \qquad (6.61)$$

Допускается, чтобы угол α'^*, определенный по формуле (6.61), отличался от угла α', определяемого по формулам (6.10), (6.11) по абсолютной величине максимум на 15°. При этом наиболее рациональныи (с точки зрения расхода нижней сжатой арматуры) считаются отклонения, приближающие α'^* по абсолютной

величине к 45°. Заметим, что формула (6.61) является точной в случае, когда первый критерий (6.38) удовлетворяется в виде неравенства. В случае соблюдения первого критерия (6.38) в виде неравенства (> 0), следует предварительно умножить все усилия (M_x, M_y, M_{xy}, N_x, N_y, N_{xy}) на коэффициент $k_M > 1$, так чтобы первое условие (6.38) выполнялось в виде равенства, а затем в (6.61) вместо M_x, M_y, M_{xy}, N_x, N_y, N_{xy} подставить соответственно величины $k_M M_x$, $k_M M_y$, $k_M M_{xy}$, $k_M N_x$, $k_M N_y$, $k_M N_{xy}$.

Критерий прочности по верхней арматуре записывается в виде (6.34), где следует принимать

$$\begin{aligned} M'_{\text{тх}} &= \hat{\sigma}'_{sx} f'_{sx} (h'_x - 0{,}5x'_{\text{тх}}) + R_{scx} f^c_{sx} (0{,}5x'_{\text{тх}} - a_{sx}); \\ M'_{\text{ту}} &= \hat{\sigma}'_{sy} f'_{sy} (h'_y - 0{,}5x'_{\text{ту}}) + R_{scy} f^c_{sy} (0{,}5x'_{\text{ту}} - a_{sy}) \end{aligned} \qquad (6.62)$$

6.9. Критерии прочности для схемы «С» в случае 2

6.9.1. Предварительно назначаются значения высот сжатой зоны по формулам:

$$\begin{aligned} \hat{x}_{\text{тх}} &= \xi_R h_x + (h_x - \xi_R h_x)\eta_M, \\ \hat{x}_{\text{ту}} &= \xi_R h_y + (h_x - \xi_R h_x)\eta_M, \end{aligned} \qquad (6.63)$$

где

$$M_{\text{я макс}} / M'_{\text{я мин}} \qquad (6.64)$$

Определяется предельно допустимых напряжения в нижней арматуре

$$\begin{aligned} \hat{\sigma}_{sx} &= \left(2 \frac{1 - x_{\text{тх}} / h_x}{1 - \xi_R} - 1 \right) R_{scx}; \\ \hat{\sigma}_{sy} &= \left(2 \frac{1 - x_{\text{ту}} / h_y}{1 - \xi_R} - 1 \right) R_{scy}, \end{aligned} \qquad (6.65)$$

($\xi_R \le x_{\text{тх}} / h_x \le 1$; $\xi_R \le x_{\text{ту}} / h_y \le 1$).

Для случая сжатия величины $\hat{\sigma}_{sx}$ и $\hat{\sigma}_{sy}$ получаются отрицательными.

Реальные высоты бетона сжатой зоны определяются по формулам:

$$x_{тх} = \frac{N_{xy} tg\,\alpha' - N_x - f'^{c}_{sx} R'_{scx} + f_{sx}\hat{\sigma}_{sx}}{R_b};$$

$$x_{ту} = \frac{N_{xy} ctg\,\alpha' - N_y - f'^{c}_{sy} R'_{scy} + f'_{sy}\hat{\sigma}_{sy}}{R_b}, \qquad (6.66)$$

$$(x_{тх} \le h_x; x_{ту} \le h_y)$$

После этого по формулам (6.65)-(6.66) выполняется уточнение $\hat{\sigma}_{sx}$, $\hat{\sigma}_{sy}$, $x_{тх}$, $x_{ту}$ до сходимости итерационного процесса.

Проверка прочности по верхней сжатой арматуре происходит по критерию (6.21), где следует принимать

$$M_{bx} = R_b x_{тх}(h_x - 0{,}5x_{тх}) + f'^{c}_{sx} R'_{scx} Z_{sx};$$

$$M_{by} = R_b x_{ту}(h_y - 0{,}5x_{ту}) + f'^{c}_{sy} R'_{sy} Z_{sy}, \qquad (6.67)$$

$x_{тх}, x_{ту}$ вычисляются по формулам (6.66);

$Z_{вх}, Z_{sy}$ –по формулам (6.23).

Окончательный угол наклона площадки разрушения от действия $M'_{я\,мин}$ (он обозначен α'^{*}) зависит от реальной принятого армирования и определяется по формуле:

$$tg^2\alpha'^{*} = \frac{(M_{bx} + N_x Z_{ox} - M_x)(M_{xy} - N_{xy} Z_{by})}{(M_{by} + N_y Z_{oy} - M_y)(M_{xy} - N_{xy} Z_{by})}, \qquad (6.68)$$

Допускается, чтобы угол α'^{*} отличался по абсолютной величине от угла α', определяемого по формулам (6.10), (6.11) максимум на 15°. При этом наибоее рациональным (с точки зрения расхода арматуры) считаются отклонения, приближающие α'^{*} по абсолютной величине к 45°. Здесь также формула (6.68) выполняется в точности, если первый критерий прочности (6.29) выполняется в виде равенства. В других случаях следует следовать рекомендации, представленной к пояснению формулы (6.61), однако при этом используется критерий (6.21) с учетом (6.67).

Критерий прочности по нижней арматуре записывается в виде (6.17), где следует принимать

$$M_{\text{тх}} = \hat{\sigma}_{sx} f_{sx} (h_x - 0{,}5 x_{\text{тх}}) + R'_{scx} f'^{c}_{sx} (0{,}5 x_{\text{тх}} - a'_x);$$
$$M_{\text{ту}} = \hat{\sigma}_{sy} f_{sy} (h_y - 0{,}5 x_{\text{ту}}) + R'_{scy} f'^{c}_{sy} (0{,}5 x_{\text{ту}} - a'_y); \quad (6.69)$$

При подборе арматуры из каждой пары значений f'^{c}_{sx} и f'_{sx}, f'^{c}_{sy} и f'_{sy}, f^{c}_{sx} и f_{sx}, f^{c}_{sy} и f_{sy} выбираются бóльшие значения.

7. Дополнительные рекомендации по конструированию

7.1. *Требования к поперечному и продольному армированию*

7.1.1. Поперечная арматура в стенах и колоннах должна устанавливаться с шагом не более $10d$ и не более 200 мм, где d – диаметр сжатой продольной арматуры, устанавливаемой у поверхности элементов (для предотвращения выпучивания).

7.1.2. Поперечная арматура в стенах и колоннах должна быть не менее $d = 10$ мм (А400, А500) при классе бетона В60 и ниже, и не менее $d = 12$ мм (А400, А500)при классе бетона выше В60. Продольная арматура в стенах должна быть не менее $d = 12$ мм (А400, А500).

7.1.3. Поперечная арматура в колоннах должна образовывать замкнутые хомуты (минимум один общий, а остальные – локальные). Локальные хомуты должны иметь концевые загибы и устанавливаться с нахлестом не менее $20d_n$ и не менее 250 мм, где d_n – диаметр хомута. Поперечная арматура должна охватывать загибом минимум через один стержень продольной арматуры.

7.2. *Требования к соединениям арматуры внахлест и их расположению*

7.2.1. Длина нахлеста l_l стыкуемых стержней определяется согласно указаниям СП 63.13330.2012 в зависимости от расчетных сопротивлений арматуры и бетона, напряженного состояния бетона в зоне стыка и диаметра арматуры. Допускается длину l_l для арматуры класса А500С определять по табл. 7.1.

Таблица 7.1

Длины нахлеста l_l

Диаметр арматуры в мм	Арматура класса А500С				
	бетон В50	бетон В60	бетон В70	бетон В80	бетон В90
Длина нахлеста l_l в растянутом бетоне					
$d \leq 32$	33d	29d	29d	29d	29d
$d > 32$	37d	33d	33d	33d	33d
Длина нахлеста l_l в сжатом бетоне					
$d \leq 32$	25d	22d	22d	22d	22d
$d > 32$	28d	25d	25d	25d	25d

***Примечание**:*

указанные в табл. 7.1 базовые значения длины перепуска (нахлеста) арматуры могут быть уменьшены на отношение $A_{s\,col}/A_{sef}$, где $A_{s\,col}$, A_{sef} – соответственно площади арматуры – требуемая по расчету и фактическая.

7.2.2. Соседние стыки внахлестку должны располагаться в разбежку так, чтобы расстояния между центрами тяжести стыков были не менее $1{,}5l_l$. Расстояние между соседними стыками внахлестку (по ширине железобетонного элемента) должно быть не менее $2d$, не менее 50 мм и не менее $1{,}5d_з$, где $d_з$ – максимальный размер крупного заполнителя.

7.2.3. В горизонтальных конструкциях в местах расположения выпусков колонн и стен запрещается организовывать нахлесточные соединения. Ближайшее окончание нахлесточного соединения должно располагаться на расстояние не менее $0{,}5\ l_l$ от вертикальных выпусков.

7.2.4. При применении армирования спаренными стержнями длина нахлеста l_l определяется по табл. 7.1, где диаметр стержней d заменяется на приведенный диаметр, равный максимальному значению из четырех величин:

$$d \geq \sqrt{d_1^2 + d_2^2}\ ,\ d \geq \sqrt{d_3^2 + d_4^2}\ ,\ d \geq \sqrt{d_4^2 + d_2^2}\ ,\ d \geq \sqrt{d_3^2 + d_1^2}\ . \qquad (7.1)$$

Согласно этим указаниям, при $d_1 = d_2 = d_3 = d_4 = 32$ мм приведенный диаметр составит: $d = \sqrt{32^2 + 32^2} \approx 45$ мм. Расстояние в свету между стыками спаренных стержней должно быть не менее $2d$, где d определяется по формуле (7.1), и не менее 50 мм.

Согласно СП 63.13330.2012 допускается увеличивать относительное количество стыкуемой в одном расчетном сечении растянутой рабочей арматуры

до 100%. При этом указанная выше (табл. 7.1) длина нахлеста увеличивается в 1.7 раза.

7.2.5. В сварных сетках и каркасах при наличии на длине нахлестки приваренных поперечных стержней длина нахлестки, вычисленная по СП 63.13330.2012, может быть уменьшена на $5d$ при одном приваренном поперечном стержне и на $8d$ при двух стержнях, но не более чем на 30%. Во всех случаях длина нахлеста принимается не менее $20d$ и не менее 250 мм.

7.3. *Требования к механическим соединениям арматуры и их расположению*

7.3.1. При расчете сечений, в которых выполняются механические соединения, необходимо вводить понижающие коэффициенты условия работы (только для стыкуемой арматуры): для сжатой арматуры $\gamma_{si} = 0{,}85$, для растянутой арматуры $\gamma_{si} = 0{,}95$. Также при выполнении расчетов железобетонных элементов по раскрытию трещин следует применять модуль упругости арматуры с понижающим коэффициентом, равным 0,85 (только для стыкуемой арматуры). Вышеуказанные коэффициенты могут быть уточнены по результатам разрушающих испытаний муфтовых соединений соответствующего производителя. В проекте в обязательном порядке должны быть отражены требования постоянного контроля принятых понижающих коэффициентов в ходе строительства (регулярно должны производиться контрольные испытания образцов механических соединений).

7.3.2. Стыковка арматурных стержней в вертикальных и горизонтальных конструкциях с использованием механических соединений допускается в количестве не более 50% стыков в одном сечении. Расстояние между сечениями стыковки в вертикальных конструкциях следует принимать равным длине нахлеста при сжатии (табл. 7.1), но не менее 60 см (для арматуры класса А500С и бетона В60 в сжатых элементах при d арматуры > 32 мм длина нахлеста составляет $25d$, при d арматуры ≤ 32 мм длина нахлеста составляет $22d$). Расстояние между сечениями стыковки в горизонтальных конструкциях следует принимать равным длине нахлеста при растяжении (табл. 7.1), но не менее 60 см (для арматуры

класса А500С и бетона В60 в сжатых элементах при d арматуры > 32 мм длина нахлеста составляет $33d$, при d арматуры ≤ 32 мм длина нахлеста составляет $29d$).

7.3.3. В колоннах в зонах выполнения стыковки арматуры посредством механических соединений установку поперечной арматуры следует выполнять замкнутыми хомутами и соединительными скобами из арматуры периодического профиля не менее Ø12 мм, с шагом не более 100 мм, в количестве не менее 6 рядов. При этом средние ряды поперечной арматуры должны проходить непосредственно перед механическими соединениями стержней и сразу за ними, остальные ряды должны быть распределены симметрично по высоте относительно механических соединений.

7.3.4. В стенах в зонах выполнения стыковки арматуры посредством механических соединений установку соединительных скоб следует выполнять из арматуры периодического профиля не менее Ø12 мм, с шагом не более 100 мм, в количестве не менее 4 шт. на каждое соединение. При этом средние ряды скоб должна проходить непосредственно перед механическими соединениями стержня и сразу за ними, остальные должны быть установлены симметрично по высоте относительно механического соединения.

8. Требования к материалам для производства бетонных смесей тяжелых и мелкозернистых модифицированных бетонов классов В50-В100

8.1. Материалы, применяемые при приготовлении тяжелых и мелкозернистых бетонов, должны удовлетворять требованиям настоящего Методического пособия, действующих государственных стандартов, технических условий и других нормативных документов.

Для приготовления тяжелых и мелкозернистых модифицированных бетонов классов В50-В90 следует применять следующие материалы:

– Цементы

Портландцементы марок ЦЕМ I 52,5Н и ЦЕМ II 52,5Н (ГОСТ 31108-2003), ПЦ 500-Д0-Н и ПЦ 500-Д20-Н (ГОСТ 10178-85) с содержанием C_3A в клинкере не более 8 % и нормальной густотой цементного теста не более 25 %;

– Добавки

Химические добавки групп суперпластификаторов, регуляторов сохраняемости бетонных смесей, воздухововлекающих и газообразующих, соответствующие ГОСТ 24211.

Минеральные добавки – микрокремнезем, метакаолин, зола-уноса, соответствующие ГОСТ Р 56592-2015.

Органо-минеральные модификаторы МБ-01 (ТУ 5743-073-46854090-98), МБ-С (ТУ 5743-083-46854090-98), Эмбэлит (ТУ 5870-176-46854090-04), соответствующие ГОСТ Р 56178-2014;

– природный песок 1 класса с модулем крупности $М_{кр}$> 2,0, соответствующий требованиям ГОСТ 8736; полный остаток песка на сите с ячейками № 063 должен быть не менее 30% по массе; содержание зерен крупностью свыше 10,5 мм и менее 0,16 мм не должно превышать соответственно 0,5% и 5% по массе; содержание в песке пылевидных и глинистых частиц, а также глины в комках не должно превышать соответственно 2% и 0,25% по массе;

– гранитный щебень фракций от 5 мм до 20 мм, соответствующий требованиям ГОСТ 8267 и ГОСТ 26633; марка щебня по морозостойкости должна быть не ниже F300; содержание пылевидных и глинистых частиц в щебне не должно превышать 1% по массе; содержание в щебне зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы не должно превышать 25%, а содержание зерен слабых пород должно быть не более 5% по массе;

– вода для бетонных смесей, удовлетворяющая требованиям ГОСТ 23732-79.

Применение других материалов для приготовления тяжелых и мелкозернистых бетонов допускается только после проведения комплекса испытаний (включая испытания на ползучесть и усадку), подтверждающих соответствие характеристик предлагаемых составов характеристикам, указанным в п. 4 настоящего Методического пособия.

Приложение.

Основные понятия, термины и определения

В настоящем Методическом пособии применяются следующие понятия, термины и определения:

1. Бетон тяжелый – бетон плотностью от 2200 до 2500 кг/м^3 с использованием крупного заполнителя (щебня, гравия) фракций от 5 до 20 мм и мелкого заполнителя (песка) фракций не более 5 мм.

2. Бетон мелкозернистый – бетон плотностью от 1800 до 2200 кг/м^3 включительно, приготовленный с использованием только мелкого заполнителя (песка) фракций не более 5 мм.

3. Бетон модифицированный – бетон, содержащий в своем составе комплекс добавок – химических из группы пластификаторов и минеральных из группы активных техногенных – или органо-минеральные модификаторы типа МБ.

4. Органо-минеральный модификатор – поликомпонентный порошкообразный материал с размером гранул не более 0,5 мм, включающий в себя органическую и минеральные части и предназначенный для улучшения технологических и физико-технических свойств цементных систем

5. Высокопрочные бетоны – бетоны повышенной прочности (классов В50, В60) и значительно повышенной прочности (классов В70 и выше).

6. Класс бетона по прочности на сжатие В соответствует значению кубиковой прочности бетона на сжатие, МПа, с обеспеченностью 0,95 (нормативная кубиковая прочность)

7. Класс бетона по прочности на осевое растяжение соответствует значению прочности бетона на осевое растяжение, МПа, с обеспеченностью 0,95 (нормативная прочность бетона).

8. Марка бетона по морозостойкости F соответствует минимальному числу циклов переменного замораживания и оттаивания, выдерживаемых образцом при стандартном испытании.

9. Марка бетона по водонепроницаемости W соответствует максимальному значению давления воды (в МПа*), выдерживаемому бетонным образцом при испытании.

10. Марка бетона по средней плотности D соответствует среднему значению объемной массы бетона (кг/м^3).

11. Класс бетона по прочности на сжатие В назначают для всех видов бетонов и конструкций.

12. Класс бетона по прочности на осевое растяжение В назначают в случаях, когда эта характеристика имеет главенствующее значение в работе конструкции и ее контролируют на производстве.

13. Марку бетона по морозостойкости F назначают для конструкций, подвергающихся воздействию переменного замораживания и оттаивания.

14. Марку бетона по водонепроницаемости W назначают для конструкций, к которым предъявляют требования по ограничению водонепроницаемости.

15. Диаграммы деформирования (состояния) бетона – функциональные зависимости между напряжениями и относительными деформациями бетона при кратковременно возрастающих напряжениях сжатия или растяжения вплоть до вершины диаграммы или возрастающих деформациях сжатия или растяжения до ее вершины и за вершиной (на ниспадающей ветви).

16. Деформации ползучести бетона – деформации проявляющиеся во времени в элементах бетона при постоянных и переменных значениях напряжений.

17. Усадка – свойство материала уменьшать свой объем при определенных физических воздействиях (высыхание, карбонизация, контракция), не связанных с его нагружением; характеризуются коэффициентом линейной (объемной) усадки.

18. Классы арматуры по прочности на растяжение отвечают гарантированному значению предела текучести, физического или условного (равного значению напряжений, соответствующих остаточному относительному удлинению 0,1% или 0,2%), с обеспеченностью не менее 0,95, определяемому по соответствующим стандартам.

19. Диаграмма деформирования (состояния) арматуры – функциональная зависимость между напряжениями и относительными деформациями арматурного стержня до условного или физического предела текучести (частичная диаграмма) или до разрыва стержня (полная диаграмма).

20. Диаграммная модель – модель расчета, в основу которой положено использование реальных криволинейных диаграмм деформирования бетона и арматуры.

21. Стыки арматуры внахлестку: Соединение арматурных стержней по их длине без сварки путем заведения конца одного арматурного стержня относительно конца другого.

22. Механические муфтовые соединения арматуры – соединения арматуры при помощи специальных муфт с внутренними резьбовыми отверстиями для закручивания в них арматурных стержней с нанесенной на их стыкуемые концы соответствующей наружной резьбы.

Приложение.

Перечень нормативной документации

1.	СП 63.13330.2012	Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003.
2.	СП 20.13330.2011	СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия
3.	СП 70.13330.2012	СНиП 3.03.01-87 Несущие и ограждающие конструкции
4.	СП 28.13330.2012	СНиП 2.03.11-85 Защита строительных конструкций от коррозии
5.	СП 22.13330.2011	СНиП 2.02.01-83* Основания зданий и сооружений
6.	ГОСТ 7473-2010	Смеси бетонные. Технические условия.
7.	ГОСТ 8267-93	Щебень из естественного камня для строительных работ. Технические условия.
8.	ГОСТ 8736-2014	Песок для строительных работ. Технические условия.
9.	ГОСТ 10178-85	Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия.
10.	ГОСТ 18105-2010	Бетоны. Правила контроля и оценки прочности.
11.	ГОСТ 23732-2011	Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия.
12.	ГОСТ 24211-2008	Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия.
13.	ГОСТ 25192-82	Бетоны. Классификация и общие технические требования.
14.	ГОСТ 26633-2011	Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия.
15.	ГОСТ 31108-2003	Цементы общестроительные. Технические условия.
16.	ГОСТ 31914-2012	Бетоны высокопрочные тяжелые и мелкозернистые для монолитных конструкций. Правила контроля и оценки качества.
17.	ГОСТ Р 56178-2014	Модификаторы органо-минеральные типа МБ для бетонов, строительных растворов и сухих смесей. Технические условия.
18.	ГОСТ Р 56592-2015	Добавки минеральные для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия.
19.	ГОСТ 5781-82	Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций.
20.	ГОСТ 52544-2006	Прокат арматурный свариваемый периодического профиля классов А500С и В500С для армирования железобетонных

конструкций.

21. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003.

22. ТСН 102-00 Территориальные строительные нормы г.Москвы. Железобетонные конструкции с арматурой А500С и А400С.

23. СТО АСЧМ7-93 Прокат периодического профиля из арматурной стали. Технические условия.

24. СТО 36554501-005-2006 Применение арматуры класса А500СП в железобетонных конструкциях.

gost.e-ecolog.ru