СТРОИТЕЛЬНЫЕ НОРМЫ И ПРАВИЛА

**БЕТОННЫЕ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ,**

**ПРЕДНАЗНАЧЕННЫЕ ДЛЯ РАБОТЫ**

**В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ**

**ПОВЫШЕННЫХ И ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР**

**СНиП 2.03.04-84**

ГОССТРОЙ СССР

РАЗРАБОТАНЫ НИИЖБ Госстроя СССР (д-р техн. наук, проф. *А*. *Ф.* *Милованов* руко­водитель темы; кандидаты техн. наук *В. Н. Горячев, В. М. Милонов, В. Н. Сямойленко*) *с* участием ВНИПИ Теплопроект Минмонтажспецстроя СССР (*В. А. Тарасова*), Макеевского ИСИ Минвуза Украинской ССР (канд. техн. наук *А. П. Кричевский*), Харьковского Промстройннипроекта Госстроя СССР (кандидаты техн. наук *И. Н. Заславский, С. Л. Фомин*).

ВНЕСЕНЫ НИИЖБ Госстроп СССР.

ПОДГОТОВЛЕНЫ К УТВЕРЖДЕНИЮ Главтехнормированием Госстроя СССР (*В. М. Скубко*).

С введением в действие СНиП 2.03.04-84 "Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур" с 1 января 1986 г. утрачивает силу "Инструкция по проектированию бетонных и железобетонных конструкций, предназначенных для работы в условиях воздействия повышен­ных и высоких температур" (СН 482-76).

*При пользовании нормативным документом следует учитывать утвержденные изменения строительных норм и правил и государственных стандартов, публикуемые в журнале Бюллетень строительной техники Госстроя СССР и информационном указателе Государственные стандарты СССР Госстандарта.*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Строительные нормы и правила | СНиП 2.03.04-84 |
| Госстрой СССР | Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы  в условиях воздействия повышенных  и высоких температур | Взамен  СН 482-76 |

Настоящие нормы и правила распространяются на проектирование бетонных и железобетонных конструкций, предназначенных для работы в усло­виях систематического воздействия повышенных (от 50 до 200 С включительно) и высоких (свыше 200 С) технологических температур (далее — воздействия температур).

Нормы устанавливают требования по проектиро­ванию указанных конструкций, изготовляемых из конструкционного тяжелого бетона средней плотности от 2200 до 2500 кг/м3 включительно (далее — обычный бетон) и из жаростойкого бетона плотной структуры средней плотности 900 кг/м3 и более.

Требования настоящих норм не распространя­ются на конструкции из жаростойкого бетона ячеистой структуры.

Проектировать железобетонные дымовые трубы, резервуары и фундаменты доменных печей, рабо­тающие при воздействии температуры свыше 50 С, следует с учетом дополнительных требований, предъявляемых к этим сооружениям соответствую­щими нормативными документами.

Основные буквенные обозначения, принятые в настоящих нормах согласно СТ СЭВ 1565-79, приве­дены в справочном приложении 1.

**1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

**ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ**

**1.1.** Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных температур, следует предусмат­ривать, как правило, из обычного бетона.

Фундаменты, которые при эксплуатации по­стоянно подвергаются воздействию температуры до 250 С включительно, допускается принимать из обычного бетона.

Бетонные и железобетонные конструкции, пред­назначенные для работы в условиях воздействия высоких температур, следует предусматривать из жаростойкого бетона.

Несущие элементы конструкций тепловых агре­гатов, выполняемые из жаростойкого бетона, сечение которых может нагреваться до темпера­туры выше 1000 С, допускается принимать только после их опытной проверки.

Жаростойкие бетоны в элементах конструкций тепловых агрегатов следует применять в соответ­ствии с рекомендуемым приложением 2.

Классы жаростойкого бетона по предельно допус­тимой температуре применения в соответствии с ГОСТ 20910-82 в зависимости от вида вяжущего, заполнителей, тонкомолотых добавок и отвердителя приведены в табл. 9.

**1.2.** Для конструкций, работающих под воздей­ствием температуры выше 50 С в условиях перио­дического увлажнения паром, технической водой и конденсатом, необходимо соблюдать требования пп. 1.8, 2.4, 2.6 2.8, 2.11 и 5.7. При невозмож­ности обеспечения указанных требований расчет таких конструкций допускается производить только на воздействие температуры и нагрузки без учета периодического увлажнения. При этом в расчете сечения не должны учитываться крайние слои бетона толщиной 20 мм с каждой стороны, подвергающиеся замачиванию в течение 7 ч, и толщиной 50 мм при длительности замачивания бетона более 7 ч или должна предусматриваться защита поверхности бетона от периодического замачивания.

Окрашенная поверхность бетона или гидроизо­ляционные покрытия этих конструкций должны быть светлых тонов.

**1.3.** *Циклический нагрев —* длительный темпе­ратурный режим, при котором в процессе экс­плуатации конструкция периодически подвергается повторяющемуся нагреву с колебаниями температуры болев 30 % расчетной величины при длительности циклов от 3 ч до 30 дней.

*Постоянный нагрев —* длительный температур­ный режим, при котором в процессе эксплуатации конструкция подвергается нагреву с колебаниями температуры до 30 % расчетной величины.

**1.4.** При проектировании конструкций из жаро­стойких бетонов по ГОСТ 20910—82 необходимо учитывать дополнительные требования к исход­ным материалам для жаростойких бетонов, под­бору их состава и технологии приготовления, а также особенности производства работ по требо­ваниям СН 156-79.

**ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ**

**1.5.** Бетонные и железобетонные конструкции, работающие в условиях воздействия повышен­ных и высоких температур, следует рассчитывать

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Внесены  НИИЖБ  Госстрой СССР | Утверждены  постановлением  Госстроя СССР  от 27 декабря 1984 г. № 219 | Срок  введения  в действие  1 января 1986 г. |

на основе положений СНиП 2.03.01-84 с учетом дополнительных требований, изложенных в настоящих нормах и правилах.

При расчете бетонных и железобетонных кон­струкции необходимо учитывать изменения меха­нических и упругопластических свойств бетона и арматуры в зависимости от температуры воздействия. При этом усилия, деформации, образование, раскрытие и закрытие трещин определяют от воз действия нагрузки (включая собственный вес) и температуры.

Расчетные схемы и основные предпосылки для расчете бетонных и железобетонных конструкций должны устанавливаться в соответствии с усло­виями их действительной работы в предельном состоянии с учетом в необходимых случаях пластических свойств бетона и арматуры, наличия трещин в растянутом бетоне, а также влияния усадки и ползучести бетона как при нормальной температуре, так и при воздействии повышенных и высоких температур.

**1.6.** Расчет конструкций, работающих в условиях воздействия повышенных и высоких температур, должен производиться на все возможные неблагоприятные сочетания нагрузок от собственного веса, внешней нагрузки и температуры с учетом длитель­ности их действия и в случав необходимости — осты­вания.

Расчет конструкций с учетом воздействия повы­шенных и высоких температур необходимо произ­водить для следующих основных расчетных стадий работы:

кратковременный нагрев — первый разогрев конструкции до расчетной температуры;

длительный нагрев воздействие расчетной температуры в период эксплуатации.

Расчет статически определимых конструкций по предельным состояниям первой и второй групп (за исключением расчета по образованию трещин) следует вести только для стадии длительного нагрева. Расчет по образованию трещин необходимо производить для стадий кратковременного и дли­тельного нагрева с учетом усилий, возникающих от нелинейного распределения температуры бетона по высоте сечения элемента.

Расчет статически неопределимых конструкций и их элементов по предельным состояниям первой и второй групп должен производиться:

а) на кратковременный нагрев конструкции по режиму согласно СНиП III-15-76, когда возни­кают наибольшие усилия от воздействия темпера туры (см. п. 1.10). При этом жесткость элементов в конструкции определяется по указаниям пп. 4.17 и 4.18 как от кратковременного действия всех нагрузок и в зависимости от скорости нагрева;

б) на длительный нагрев — воздействие на конструкцию расчетной температуры в период эксплуатации, когда происходит снижение прочности и жесткости элементов в результате воздействия длительного нагрева и нагрузки.

При этом жесткость элементов определяется по указаниям пп. 4.17 и 4.18 как от длительного воздействия всех нагрузок.

Расчетная технологическая температура принимается равной температуре среды цеха или рабочего пространства теплового агрегата, указанной в задании на проектирование.

Расчетные усилия и деформации от кратковременного и длительного нагревов определяются с учетом коэффициента надежности по температуре по указаниям п.1.27.

**1.7.** Величины нагрузок и воздействий, значения коэффициентов надежности, коэффициентов соче­таний, а также подразделение нагрузок на постоянные и временные длительные, кратковременные, особые следует принимать в соответствии с требо­ваниями СНиП II-6-74 с учетом дополнительных указаний СНиП 2.03.01-84.

Нагрузки и воздействия температуры, учитываемые при расчете конструкции по предельным состоя­ниям первой и второй групп, следует принимать по табл. 1 и 2.

При расчете по прочности в необходимых слу­чаях должны учитываться особые нагрузки с коэф­фициентами надежности по нагрузке *γf*, принимае­мыми по соответствующим нормативным документам. При этом усилия, вызванные действием температуры, не учитываются.

**1.8.** К трещиностойкости конструкций (или их частей) должны предъявляться требования СНиП 2.03.01-84 с учетом дополнительных указа­ний настоящего пункта.

Категории требований к трещиностойкости железобетонных конструкций в зависимости от условий их работы, вида арматуры, а также вели­чины предельно допустимой ширины раскрытия трещин с учетом воздействия температуры на элементы, эксплуатируемые в условиях неагрессивной среды, для обеспечения сохранности арма­туры приведены в табл. 3.

**1.9.** Определение усилий в статически неопреде­лимых конструкциях от внешней нагрузки, соб­ственного веса и воздействия повышенных и высо­ких температур производят по правилам строи­тельной механики методом последовательных приближений. При этом жесткость элементов опре­деляют с учетом неупругих деформаций и наличия трещин в бетоне от одновременного действия внеш­ней нагрузки, собственного веса и температуры.

**1.10.** При кратковременном нагреве усилия от воздействия температуры в элементах статически неопределимых конструкций должны определяться в зависимости от состава бетона (см. табл. 9) и температуры нагрева, вызывающей наибольшие усилия:

а) при нагреве бетона № 1 свыше 50 до250 С — по расчетной температуре;

б) при нагреве бетонов № 2—11, 23 и 24 свыше 200 до 500 С по расчетной температуре; при нагреве свыше 500 С — при 500 С;

в) при нагреве бетонов № 1221, 29 и 30 свыше 200 до 400 С — по расчетной температуре, при нагреве свыше 400 °С — при 400 °С.

Для конструкций, находящихся на наружном воздухе, расчет наибольших усилий от воздействия температур выполняют по расчетной температуре воздуха по требованию п. 1.40.

Таблица 1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Статическая схема конструкции  и расчетная | Нагрузки и коэффициенты надежности по нагрузке *γf*, температурные воздействия и коэффициенты надежности по температуре *γt*,  принимаемые при расчете | | |
| стадия работы | по прочности | по выносливости | по деформациям |
| Статически определимые конструкции при длительном нагреве | Постоянные, длительные и кратковременные нагрузки при *γf* > 1 | Постоянные, длительные и кратковременные нагрузки при *γf* = 1 | Постоянные, длительные и кратковременные нагрузки при *γf* *=* 1 и температурные деформации при *γt* = 1 |
| Статически неопределимые конструкции при кратковременном нагреве | Постоянные, длительные и кратковременные нагрузки при *γf* > 1 и наибольшие усилия от воздействия температуры при *γt* = 1,1 | Постоянные, длительные и кратковременные нагрузки при *γf =* 1 и наибольшие усилия от воздействия температуры при *γt* = 1 | Постоянные, длительные и кратковременные нагрузки при *γf* = 1 и наибольшие усилия от воздействия температуры и температурные деформации при *γt* = 1 |
| Статически неопределимые конструкции при длительном нагреве | Постоянные, длительные и кратковременные нагрузки при *γf* > 1 и усилия от воздействия температуры при *γt* = 1,1 | Постоянные, длительные и кратковременные нагрузки при *γf* = 1 и усилия от воздействия температуры при *γt* = 1 | Постоянные, длительные и кратковременные нагрузки при *γf* = 1 и усилия от воздействия температуры и температурные деформации при *γt* = 1 |

Примечания: 1. Бетонные конструкции рассчитываются только по прочности.

2. При расчете статически неопределимых конструкций кроме сочетаний воздействий температуры и нагрузок, указанных в настоящей таблице, в необходимых случаях следует проверить другие возможные неблагоприятные сочетания воздействий, в том числе и при остывании.

3. В статически неопределимых конструкциях допускается производить расчет:

а) при кратковременном нагреве только на наибольшие усилия от воздействия температуры, если усилия от постоянных, длительных и кратковременных нагрузок вызывают напряжения сжатия в бетоне *σb* ≤ 0,1 МПа;

б) при длительном нагреве выше 700 С — на совместное воздействие постоянных, длительных и кратковременных нагрузок без учета усилий от длительного нагрева.

4. При расчете на кратковременный нагрев длительная нагрузка учитывается как кратковременная.

5. Коэффициент надежности по температуре *γt* должен приниматься по указаниям п. 1.27.

6. При расчете прогибов следует учитывать указания п. 1.16.

Таблица 2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Категория требований  к трещиностойкости | Нагрузки и коэффициент надежности по нагрузке *γf*, воздействия температуры и  коэффициент надежности по температуре *γt*, принимаемые при расчете | | | |
| железобетонных |  | по раскрытию трещин | | по закрытию |
| конструкций | по образованию трещин | непродолжительному | продолжительному | трещин |
| 1-я | Постоянные, длительные и кратковременные нагрузки при *γf* > 1\* и температурные воздействия от кратковременного и длительного нагрева при *γt* *=* 1,1\* |  |  |  |
| 2-я | Постоянные, длительные и кратковременные нагрузки при *γf* > 1\* и температурные воздействия от кратковременного и дли тельного нагрева при *γt* *=* 1,1\* (расчет производится для выяснения необходимости проверки по непродолжительному раскрытию трещин и их закрытию) | Постоянные, длительные и кратковременные нагрузки при *γf* = 1 и температурные воздействия от кратковременного и дли тельного нагрева при *γt* *=* 1 |  | Постоянные и длительные нагрузки при  *γf* = 1 и температурные воздействия от длительного нагрева при *γt* *=* 1 |
| 3-я | Постоянные, длительные и кратковременные нагрузки при *γf* = 1 и темпера­турные воздействия от кратковременного и длительного нагрева при *γt* *=* 1 (расчет производится для выяснения необходимости проверки по раскрытию трещин) | Постоянные, длительные и кратковременные нагрузки при *γf* = 1 и темпера­турные воздействия от кратковременного и дли­тельного нагрева при *γt* *=* 1 | Постоянные и длительные нагрузки при  *γf* = 1 и тем­пературные воздействия от длительного нагрева при *γt* *=* 1 |  |

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\* Коэффициент надежности по нагрузке *γf* и коэффициент надежности по температуре *γt* принимаются такими же. как при расчете по прочности.

Примечания: 1. Длительные и кратковременные нагрузки принимаются с учетом требований СНиП 2.03.01-84.

2. При расчете по образованию трещин от температурных воздействий необходимо учитывать требования п. 4.2.

3. При расчете по раскрытию трещин от температурных воздействий необходимо учитывать различие температурных дефор­маций бетона и арматуры по указаниям п. 4.8.

4. Коэффициент надежности по температуре *γt* должен приниматься по указаниям п. 1.27.

5. Особые нагрузки учитываются в расчете по образованию трещин в тех случаях, когда наличие трещин приводит к ката­строфе (взрыв, пожар и т.п.).

Таблица 3

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Условия эксплуатации | Температура | Категория требований к трещиностойкости железобетонных конструкций и предельно допустимая ширина *acrc*1 и *acrc*2, мм, раскрытия трещин, обеспечивающие сохранность арматуры | | |
| конструкций | арматуры, С | стержневой клас­сов A-I,  А-II, А-III,  А-IIIв и А-IV; проволочной клас­сов B-I  и Вр-I | стержневой клас­сов А-V  и А-VI, проволочной клас­сов В-II, Вр-II, К-7  и К-19 при диаметре прово­локи 3,5 мм  и более | проволочной клас­сов В-II, Вр-II и К-7 при диаметре проволоки  3 мм и менее |
| 1. В закрытом помещении | До 100 | 3-я категория;  *acrc*1 = 0,4;  *acrc*2 = 0,3 | 3-я категория;  *acrc*1 = 0,3;  *acrc*2 = 0,2 | 3-я категория;  *acrc*1 = 0,2;  *acrc*2 = 0,1 |
|  | 100 и выше | 3-я категория;  *acrc*1 = 0,6;  *acrc*2 = 0,5 | 3-я категория;  *acrc*1 = 0,5;  *acrc*2 = 0,4 | 3-я категория;  *acrc*1 = 0,3;  *acrc*2 = 0,2 |
| 2. На открытом воздухе, а также в грунте выше уровня грунтовых вод | До 100 | 3-я категория;  *acrc*1 = 0,4;  *acrc*2 = 0,3 | 3-я категория;  *acrc*1 = 0,2;  *acrc*2 = 0,1 | 2-я категория;  *acrc*1 = 0,2 |
|  | 100 и выше | 3-я категория;  *acrc*1 = 0,6;  *acrc*2 = 0,5 | 3-я категория;  *acrc*1 = 0,5;  *acrc*2 = 0,4 | 2-я категория;  *acrc*1 = 0,3 |
| 3. В грунте при переменном уровне грунто­вых вод и в закрытом помещении при попеременном увлажнении | До 100 | 3-я категория;  *acrc*1 = 0,3;  *acrc*2 = 0,2 | 2-я категория;  *acrc*1 = 0,2 | 2-я категория;  *acrc*1 = 0,1 |

Примечание. В канатах подразумевается проволока наружного слоя.

При длительном нагреве усилия от воздействия температуры следует определять в зависимости от расчетной температуры согласно указаниям п. 1.6.

**1.11.** При расчете по прочности, деформациям, а также раскрытию и закрытию трещин распределение температуры в сечениях конструкций определяют теплотехническим расчетом для установившегося режима теплового потока. При расчете по образованию трещин распределение температур в сечениях конструкций, нагреваемых со скоростью более 10 С/ч, определяют для неустановившегося теплового потока по пп. 1.34—1.40.

**1.12.** При расчете усилий, вызванных воздействием температуры, в сборных элементах конструкций жесткость сечений следует уменьшить на 20 %, если прочность на сжатие раствора в стыке минимум на 10 МПа меньше прочности бетона сборного эле­мента.

**1.13.** Расчет элементов бетонных и железобетон­ных конструкций по прочности, схемы предельных состояний которых при расчете на воздействие температуры еще не установлены или условия наступления предельного состояния пока не могут быть выражены через усилия, может производиться через напряжения с учетом наличия трещин и развития неупругих деформаций бетона. При этом напряжения в бетоне и арматуре не должны пре­вышать соответствующих расчетных сопротивлений.

**1.14.** При расчете несущих конструкций, бетой которых неравномерно нагрет по высоте сечения элемента, часть сечения, нагретую выше 1000 С, допускается не учитывать.

**1.15.** При расчете элементов, подвергающихся нагреву, положение центра тяжести всего сечения бетона или его сжатой зоны, а также статический момент и момент инерции всего сечения следует определять, приводя все сечение к ненагретому, более прочному бетону. Для этой цели при расчете с использованием ЭВМ сечение по высоте разбивается не менее чем на четыре части.

При расчете по прочности, деформациям и рас­крытию или закрытию трещинбез использования ЭВМ при прямолинейном распределении темпера­туры бетона по высоте сечения элемента допуска­ется разбивать сечения согласно следующим ука­заниям:

для элемента, выполненного из одного вида бетона, если температура бетона наиболее нагре­той грани не превышает 400 С, сечение не разби­вается на части и момент инерции приведенного сечения *Ired* относительно центра тяжести сече­ния принимается равным:

 (1)

где *βb —* коэффициент, принимаемый в зависимости от температуры бетона в центре тяжести сечения по табл. 10;

** — коэффициент, принимаемый в зависи­мости от температуры бетона в центре тяжести сечения по табл. 12 для кратковременного нагрева;

*ϕb*1 — коэффициент, учитывающий влияние кратковременной ползучести бетона и принимаемый для бетона составов (см. табл. 9):

№ 13, 6, 7, 10, 11, 1921 0,85

№ 4, 5, 8, 9, 23, 24 0,80

№ 1218, 29, 30 0,70

для элемента, сечение которого по высоте состоит из двух видов бетона, а также прямоугольного и таврового сечений, выполненных из одного вида бетона, если температура бетона наиболее нагретой грани превышает 400 С, сечение разбивается по высоте на две чести (черт. 1, *а*);

для элемента, сечение которого по высоте со­стоит из трех видов бетона или двутаврового сече­ния, выполненного из одного вида бетона, если температуре бетона наиболее нагретой грани превы­шает 400° С, сечение разбивается на три части (черт. 1, *б*).

При расчете по образованию трещин определение напряжении от воздействия температуры произ­водится разбивкой сечения не менее чем на четыре части независимо от температуры бетона (черт. 1, *в*).

В прямоугольном сечении элемента, выполнен­ном из одного вида бетона, когда сечение по высоте разбивается на две части, линия раздела должна проходить по бетону, имеющему температуру, ревную 400 °С. В двутавровых и тавровых сечениях элементов, выполненных из одного вида бетона, линия раздела должна проходить по гра­нице между ребром и полкой. В элементе, сечение которого по высоте состоит из различных видов бетонов, линия раздела должна проходить по гра­ница бетонов.

Во всех случаях расчета арматура рассматрива­ется как самостоятельная часть сечения.

Приведенная площадь *Ared,i* *i*-той части сечения, на которые разбивается все сечение элемента, определяется по формуле

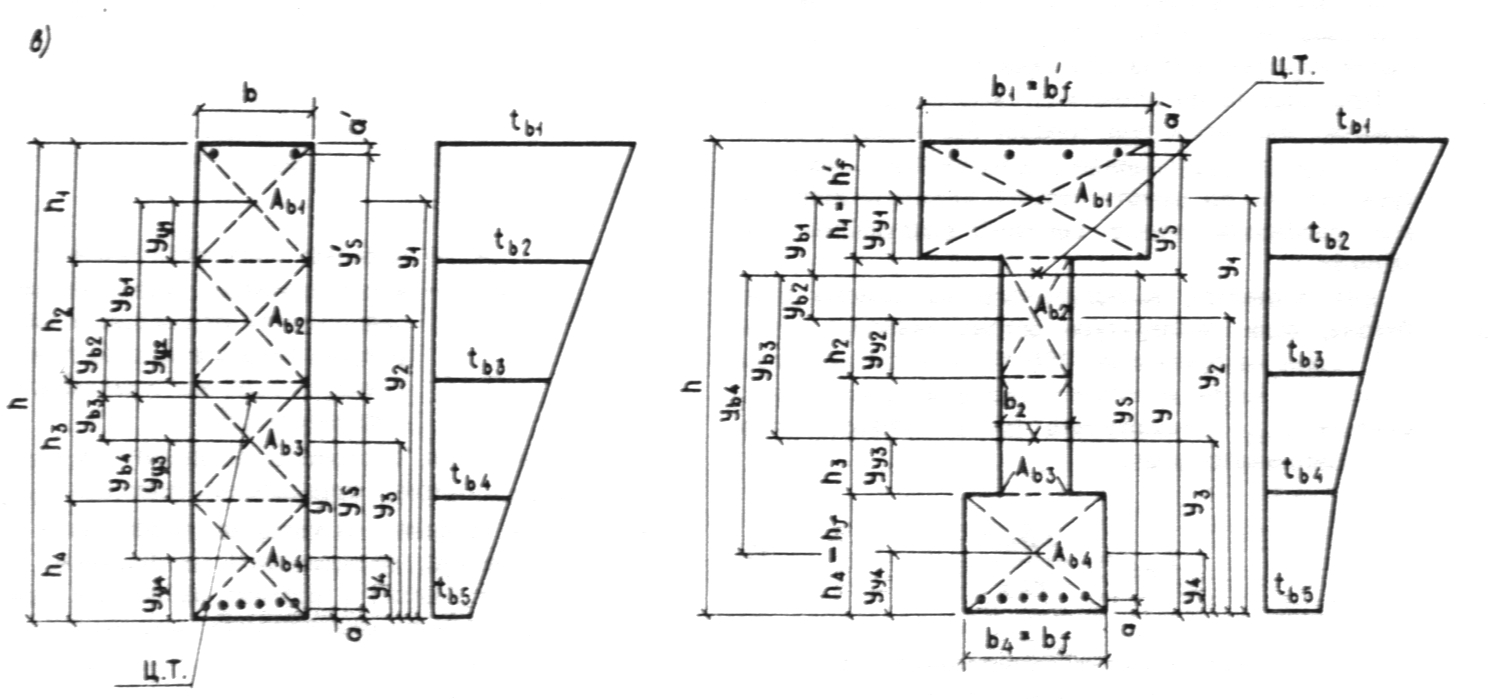
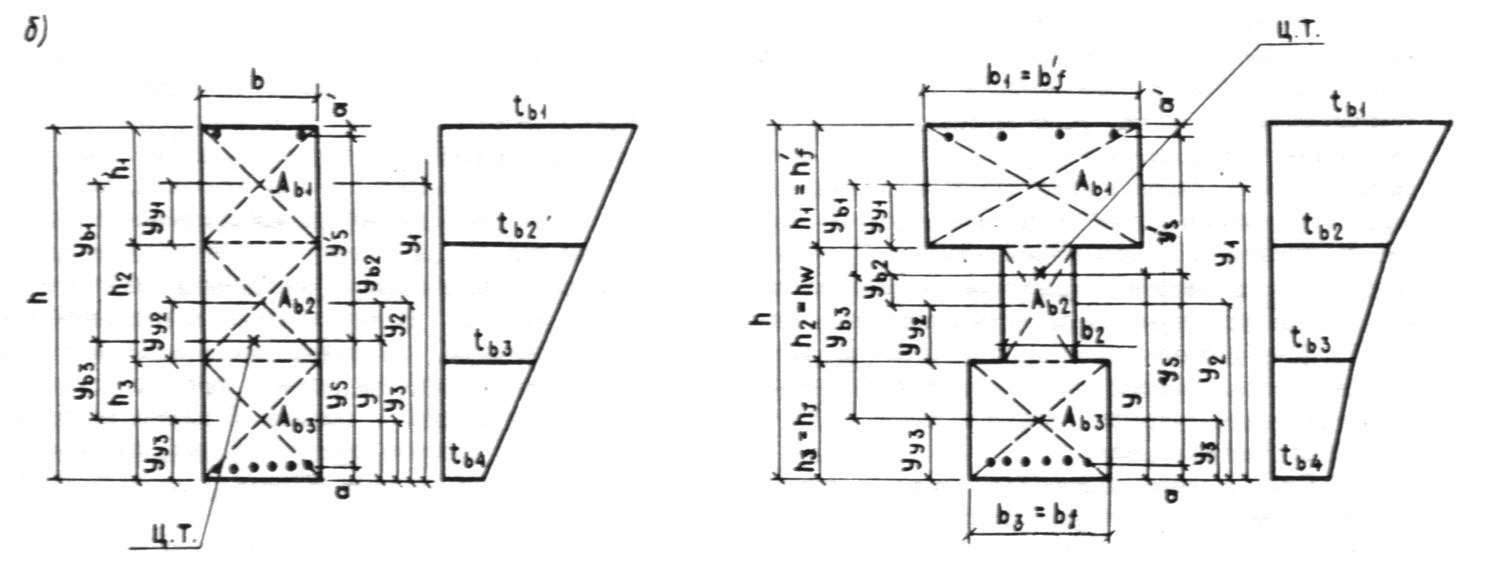
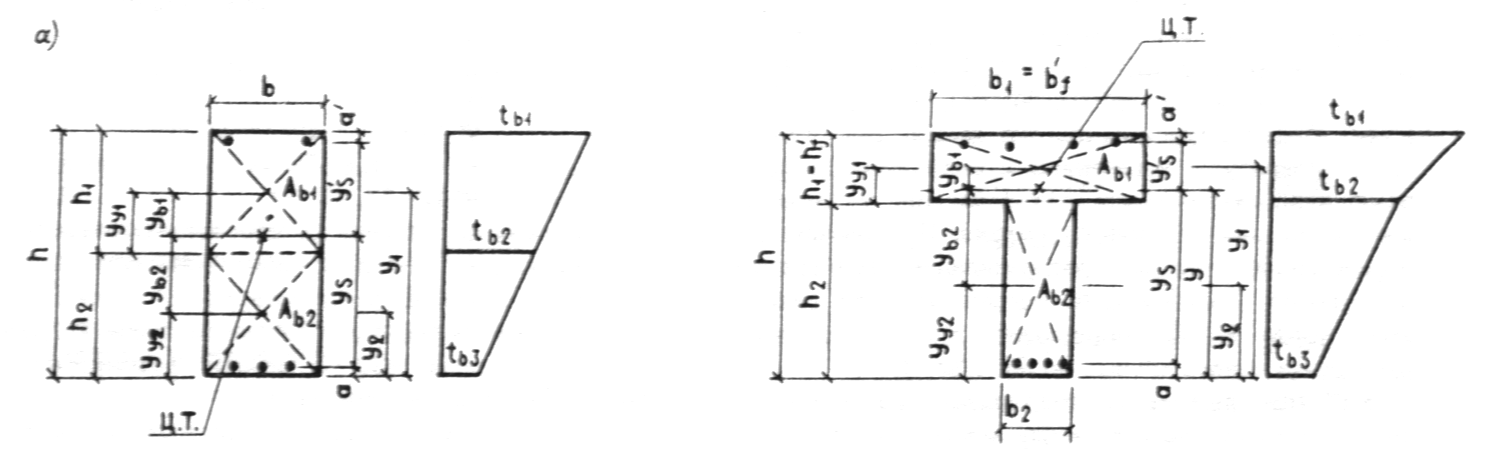
 (2)

где *Аi —* площадь *i*-той части сечения;

*ϕb*1, *βbi* и ** — коэффициенты, принимаемые в зависимости от состава и температуры бетона в центре тяжести площади *i*-той части сечения, как в формуле (1).

Для элементов, состоящих по высоте из двух и более видов бетона, приведенная площадь *Ared,i i*-той части сечения, на которые разбивается все сечение элемента, определяется по формуле (2). Если сечение элемента состоит из разных видов бетона, то в этой формуле правая часть умножается на отношение модуля упругости каждого вида бетона в нагретом состоянии к модулю упругости бетона, к которому приводится все сечение *Eb*.

При расчете без использования ЭВМ коэффициенты *βbi* и ** допускается определять в зависи­мости от средней температуры бетона *i*-той части сечения.



Черт. 1. Схемы разбивки на части высоты прямоугольного, таврового

и двутаврового сечений элементов

*а* на 2 части; *б* на 3 части; *в* на 4 части; *t*1, *t*2 ... *ti*  наибольшая

температура 1-, 2-, ... *i*-той части сечения;

ц.т. центр тяжести сечения

Площадь ненапрягаемой нагретой растянутой *As* и сжатой *A’s* арматуры приводится к ненагретому, более прочному бетону:

** (3)

 (4)

где *As,red*, *A’s,red* соответственно приведенная площадь растянутой и сжатой арма­туры;

*Еs*  модуль упругости арматуры, принимаемый для основных ви­дов по табл. 29 СНиП 2.03.01-84 и жаростойкой — по табл. 18;

*βs*  коэффициент, принимаемый в зависимости от температуры арматуры по табл. 20.

Расстояние от центра тяжести приведенного сече­ния *у* до наименее нагретой грани определяют по формуле

 (5)

Площадь приведенного сечения элемента *Ared* находят по формуле

 (6)

Статический момент площадей приведенного се­чения элемента *Sred* относительно грани, растянутой внешней нагрузкой и воздействием температуры, определяют по формуле

 (7)

где *yi —* расстояние от центра тяжести *i*-той части сечения бетона до наименее нагретой грани эле­мента, принимаемое равным

 (8)

*hi* — высота *i*-той части сечения.

Здесь

 (9)

При расчете без использования ЭВМ допускается принимать

 (10)

Момент инерции приведенного сечения элемента *Ired* относительно его центра тяжести определяют по формуле

 (11)

где *Ired,i* момент инерции *i*-той части сечения бетона, определяемый по формуле

 (12)

*ybi* — расстояние от центра тяжести *i*-той части сечения бетона до центра тяжести всего приведен­ного сечения, определяемое по формулам:

 (13)

 (14)

 (15)

**1.16.** Расчет прогибов элементов железобетонных конструкций должен производиться по требованиям СНиП 2.03.01-84. Кроме прогиба от нагрузки должен учитываться прогиб от неравномерного нагрева бетона по высоте сечения элемента по указаниям пп. 4.14 4.16.

Расчет прогибов должен производиться при:

ограничении технологическими или конструктивными требованиями с учетом прогиба от кратко­временного и длительного нагрева;

ограничении эстетическими требованиями с учетом прогиба от длительного нагрева.

Прогибы от нагрузки и воздействия темпера­туры не должны превышать предельно допустимых величин, указанных в СНиП 2.03.01-84.

При этом коэффициент надежности по темпера­туре по указаниям п. 1.27 принимают равным еди­нице.

Предельно допустимые деформации от воздей­ствия температуры в элементах конструкций, в которых требуется их ограничение при нагревании и охлаждении, должны устанавливаться норматив­ными документами по проектированию соответст­вующих конструкций, а при их отсутствии должны указываться в задании на проектирование.

**1.17.** Расстояния между температурно-усадочными швами в бетонных и железобетонных конст­рукциях из обычного и жаростойкого бетонов должны устанавливаться расчетом. Указанный рас­чет допускается не выполнять для конструкций из обычного и жаростойкого бетонов, если принятое расстояние между температурно-усадочными швами не превышает величин, указанных в табл. 4, в которой наибольшие расстояния между температурно-усадочными швами даны для бетонных и железо­бетонных конструкций с ненапрягаемой и с предварительно напряженной арматурой, к конструкциям которых предъявляются требования 3-й категории трещиностойкости, при расчетной зимней температуре наружного воздуха минус 40 С, относительной влажности воздуха 60 % и выше и высоте колонн 3 м.

Таблица 4

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Конструкции | Наибольшие расстояния между температурно-усадочными швами, м, допускаемые без расчете  для конструкций, находящихся | | |
|  | внутри отапливаемых зданий или в грунте | внутри неотапливаемых зданий | на наружном воздухе |
| 1. Бетонные:  а) сборные | 40 | 35 | 30 |
| б) монолитные при конструктивном армировании | 30 | 25 | 20 |
| в) монолитные без конструктивного армирования | 20 | 15 | 10 |
| 2. Железобетонные  а) сборные и сборно-каркасные одноэтажные | 72 | 60 | 48 |
| б) сборные и сборно-каркасные много­этажные | 60 | 50 | 40 |
| в) сборно-блочные, сборно-панельные | 55 | 45 | 35 |
| г) сборно-монолитные и монолитные каркасные | 50 | 40 | 30 |
| д) сборно-монолитные и монолитные сплошные | 40 | 30 | 25 |

Примечания: 1. Для железобетонных конструкций (поз. 2), расчетная температура внутри которых не превышает 50 С, расстояния между температурно-усадочными швами при расчетной зимней температуре наружного воздуха минус 30, 20, 10 и 1 С увеличивают соответственно на 10, 20, 40 и 60 % и при влажности наружного воздуха в наиболее жаркий месяц года ниже 40, 20 и 10 % — уменьшают соответственно на 20, 40 и 60 %. Для промежуточных значений температуры и влажности наружного воздуха указанные выше увеличения и уменьшения расстояний между температурно-усадочными швами определяют по интерполяции.

2. Для железобетонных каркасных зданий (поз. 2 а, б, г) расстояния между температурно-усадочными швами уве­личивают при высоте колонн 5 м — на 20 %, 7 м — на 60 % и 9 м — на 100 %. Для промежуточных значений высот увеличение расстояний между температурно-усадочными швами определяют по интерполяции. Высоту колонн определяют: для одноэтажных зданий — от верха фундамента до низа подкрановых балок, а при их отсутствии до низа ферм или балок покрытия; для многоэтажных зданий от верха фундамента до низа балок первого этажа.

3. Для железобетонных каркасных зданий (поз. 2 а, б, г) расстояния между температурно-усадочными швами определены при отсутствии связей либо при расположении связей в середине температурного блока.

4. Расстояния между температурно-усадочными швами в сооружениях и тепловых агрегатах с расчетной температурой внутри 70, 120, 300, 500 и 1000 С уменьшают соответственно на 20, 40, 60, 70 и 90 %. Для промежуточных значений температуры указанное уменьшение следует определять интерполяцией.

**ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УКАЗАНИЯ**

**ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ**

**ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ**

**КОНСТРУКЦИЙ**

**1.18.** Расчет предварительно напряженных конструкций, работающих в условиях воздействия повышенных и высоких температур, должен производиться в соответствии с требованиями СНиП 2.03.01-84 и с учетом дополнительных указаний пп. 1.191.25 настоящих норм и правил

**1.19.** Температура нагрева предварительно напряженной арматуры не должна превышать предельно допустимой температуры ее применения, указанной в табл. 17.

**1.20.** Сжимающие напряжения в бетоне *σbp* в стадии предварительного обжатия в долях от передаточной прочности бетона *Rbp* не должны превышать при температуре нагрева (С) предварительно напряженной арматуры

50 ................... 0,70 *Rbp*

100 ................... 0,60 *Rbp*

150 ................... 0,50 *Rbp*

250 ................... 0,40 *Rbp*

В случае необходимости величина сжимающих напряжений в бетоне может быть повышена при обеспечении надежной работы конструкции от воздействия предварительного напряжения, нагрузки и температурных усилий.

**1.21.** Полная величина потерь предварительного напряжения арматуры, учитываемая при расчете конструкций, работающих в условиях воздействия температуры выше 50 °С, определяется как сумма потерь:

основных при нормальной температуре;

дополнительных — от воздействия температуры выше 50 °С.

Основные потери предварительного напряжения арматуры для конструкций из обычного бетона состава № 1 и жаростойкого бетона составов № 2, 3, 6, 7, 10 и 11 по табл. 9 следует определять как для тяжелого бетона по требованиям СНиП 2.03.01-84. Величину потерь от усадки жаростойкого бетона следует принимать на 10 МПа больше указанных в табл. 5 поз. 8 а, б, в по СНиП 2.03.01-84.

При вычислении коэффициента *ϕl* по формуле (5) СНиП 2.03.01-84 время в сутках следует принимать: при определении потерь от ползучести со дня обжатия бетона и от усадки со дня окончания бетонирования до нагрева конструкции.

Дополнительные потери предварительного напряжения арматуры следует принимать по табл. 5.

Таблица 5

|  |  |
| --- | --- |
| Фактор, вызывающий дополнительные потери предварительного напряжения в арматуре  при ее нагреве | Величина дополни тельных потерь предварительного напряжения, МПа |
| Усадка бетона обычного состава № 1 и жаростойкого составов № 2, 3, 6, 7, 10 и 11 по табл. 9 при нагреве:  кратковременном | 40 |
| длительном постоянном | 80 |
| длительном циклическом | 60 |
| Ползучесть бетона обычного со­става № 1 и жаростойкого соста­вов № 2, 3, 6, 7, 10 и 11 по табл. 9:  естественной влажности при нагреве:  кратковременном | 10 *σbp* |
| длительном постоянном | 15 *σbp* |
| длительном циклическом | 18 *σbp* |
| сухого при нагреве:  кратковременном | 4 *σbp* |
| длительном постоянном | 6 *σbp* |
| длительном циклическом | 8 *σbp* |
| Релаксация напряжений арматуры:  проволочной классов В-II, Вр-II и К-7, К-19 | 0,0012 Δ*ts σsp* |
| стержневой классов А-IV, А-V, А-VI, Ат-IV, Ат-V,  Ат-VI | 0,001 Δ*ts σsp* |
| Разность деформаций бетона и арматуры от воздействия температуры | (*αst  αbt*) Δ*tsEsβs* |

*Обозначения, принятые* *в* *табл. 5:*

Δ*ts* разность между температурой арматуры при эксплуатации, определяемой теплотехничес­ким расчетом по указаниям пп. 1.34—1.40, и температурой арматуры при натяжении, которую допускается принимать равной 20 С;

*αbt* — коэффициент, принимаемый по табл. 14 в зависимости от температуры бетона на уровне напрягаемой арматуры и длительности нагрева;

*Еs*  модуль упругости арматуры, принимаемый по табл. 29 СНиП 2.03.01-84;

*αst* и *βs* коэффициенты, принимаемые по табл. 20 в зависимости от температуры арматуры.

Примечания: 1. Потери предварительного напряжения от релаксации напряжений арматуры принимаются для кратковременного и длительного нагрева одинаковыми и учитываются при температуре арматуры выше 40 С.

2. Потери предварительного напряжения арматуры от разности деформаций бетона и арматуры учитываются в элементах, выполненных из обычного бетона при нагреве арматуры выше100 °С ив элементах из жаростойкого бетона при нагреве арматуры выше 70 °С.

3. Если от усилий, вызванных совместным действием нагрузки, температуры и предварительного обжатия, в бетоне не уровне арматуры в стадии эксплуатации возникают растягивающие напряжения, то дополнительные потери от ползучести бетона не учитываются.

4. Потери от ползучести бетона при натяжении в двух­осном направлении следует уменьшить на 15 %.

**1.22.** Величины установившихся напряжений в бетоне *σbp* на уровне центра тяжести напрягаемой арматуры наиболее обжимаемой зоны после прояв­ления всех основных потерь необходимо определять по формуле

 (16)

где *М*  момент от собственного веса элемента.

**1.23.** Геометрические характеристики приведен­ного сечения предварительно напряженного железо­бетонного элемента (*Ared*, *Sred*, *Ired*) определяют по указаниям п. 1.15 с учетом продольной предвари­тельно напряженной арматуры *S* и *S’* и влияния температуры на снижение модулей упругости арма­туры и бетона.

**1.24.** Усилия от воздействия температуры в ста­тически неопределимых предварительно напряжен­ных железобетонных конструкциях находят по указаниям пп. 1.32 и 1.33.

При определении усилий от воздействия темпера­туры жесткость элемента вычисляют по указаниям пп. 4.17 и 4.18.

**1.25.** При определении общего прогиба предвари­тельно напряженного железобетонного элемента необходимо учитывать прогиб, вызванный неравно­мерным нагревом бетона по высоте сечения эле­мента, по указаниям п. 4.16.

**ДЕФОРМАЦИИ И УСИЛИЯ**

**ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ**

**1.26.** Расчет деформаций, вызванных нагреванием и охлаждением бетонных и железобетонных эле­ментов, должен производиться в зависимости от наличия трещин в растянутой зоне бетона и распределения температуры бетона по высоте сечения элемента.

**1.27.** Для участков бетонного и железобетон­ного элемента, где в растянутой зоне не образуются трещины, нормальные к продольной оси элемента, деформации от нагрева следует рассчитывать согласно следующим указаниям:

а) сечение элемента приводится к более проч­ному бетону по указаниям п. 1.15, удлинение *εt* оси элемента и ее кривизну  определяют по формулам:

 (17)

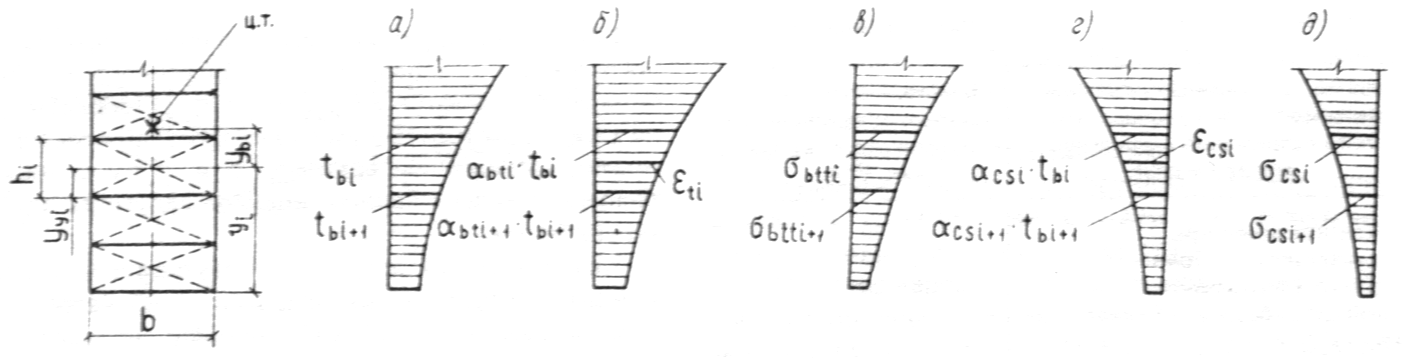
 (18)

где 

Удлинение ε*ti* оси *i*-той части бетонного сечения и ее кривизну  (черт. 2) определяют по формулам:

 (19)

 (20)



Черт. 2. Схемы распределения

*а* температуры бетона; *б*  деформации удлинения от нагрева;

*в* напряжения в бетоне от нагрева; *г*  деформации укороче­ния от остывания;

*д*  напряжения в бетоне от остывания при нелинейном изменении температуры

по высоте бетонного сечения элемента

Удлинение ε*s* и ε*’s* соответственно арматуры *S* и *S’* находят из формул:

 (21)



В формулах (17) (22): *Ared*, *Ared,i*, *As,red*, *A’s,red*, *ybi*, *ys*, *y’s*, *Ired*, *Ired,i*, *yyi* принимают по указаниям п. 1.15;

α*bti* и α*bti*+1 — коэффициенты, принимаемые по табл. 14 в зависимости от темпера­туры бетона более и менее нагретой грани *i*-той части сечения;

α*st —* коэффициент, принимаемый по табл. 20 в зависимости от темпера­туры арматуры *S* и *S’* ;

γ*t —* коэффициент надежности по темпера­туре, принимаемый при расчете по предельным состояниям: первой группы — 1,1; второй группы — 1.

При расчете бетонного сечения в формулах (17) и (18) удлинение арматуры ε*s* и ε*’s* не учиты­вается;

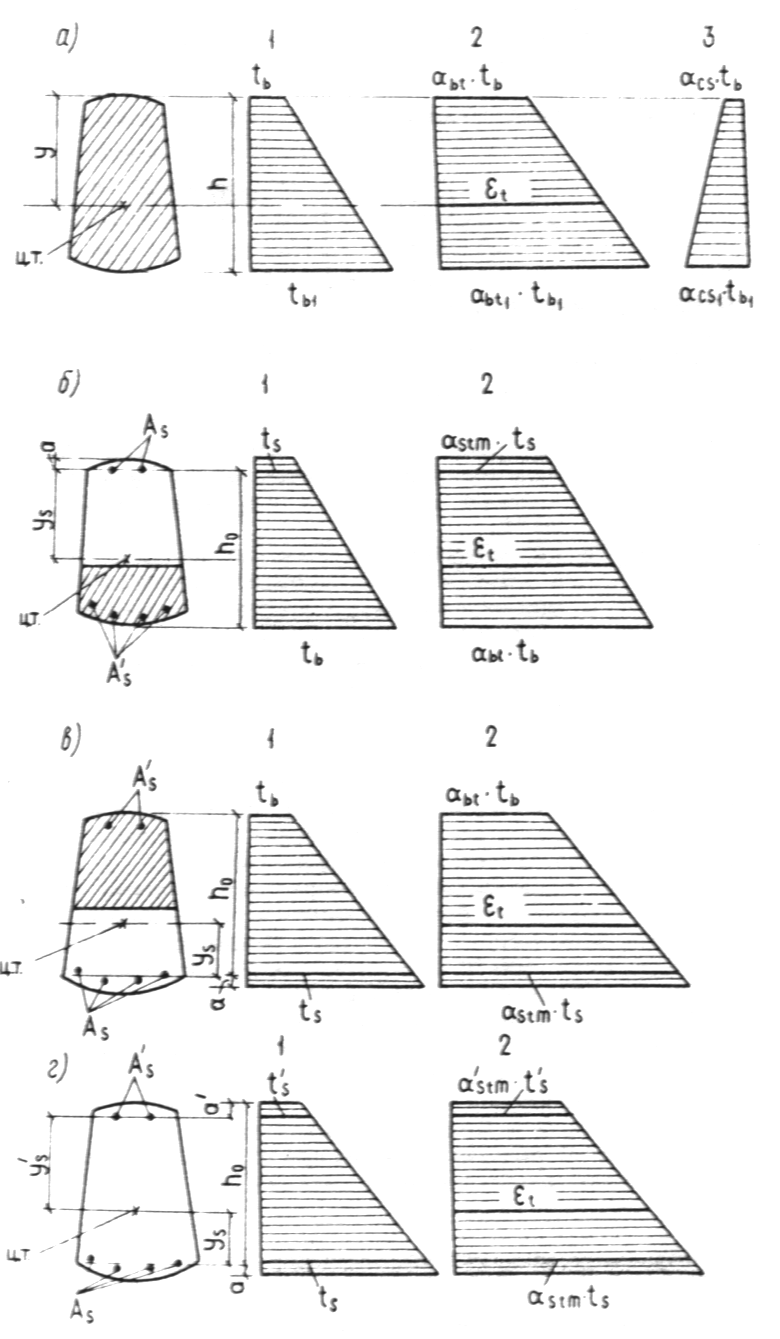
б) при неравномерном нагреве бетона с прямо­линейным распределением температуры по высоте сечения элемента (черт. 3, *а*) удлинение оси эле­мента ε*е* и ее кривизну  допускается опреде­лять по формулам:

 (23)

 (24)

где *tb* и *tb*1 температура бетона менее и более  
нагретой грани сечения, определяемая теплотехническим расчетом по указаниям пп. 1.34 -1.40;

α*bt* и α*bt*1 коэффициенты, принимаемые в зависимости от температуры бетона менее и более нагретой грани сечения по табл. 14.



Черт. 3. Схемы распределения температур (*1*) и деформа­ций от неравномерного нагрева (*2*) и остывания (*3*) при прямолинейном изменении температур по высоте сечения элемента

*а*  бетонного и железобетонного без трещин; *б* железо­бетонного с трещинами в растянутой зоне, расположенной у менее нагретой грани; *в* то же, у более нагретой грани; *г*  железобетонного с трещинами по всей высоте сечения

**1.28.** Для участков бетонного или железобетонного элемента, где в растянутой зоне бетона не образуются трещины, нормальные к продольнойоси элемента, деформации от остывания следует рассчитывать согласно следующим указаниям:

а) сечение элемента приводится к более проч­ному бетону по указаниям п. 1.15; от усадки и ползучести бетона укорочение ε*csc* оси элемента и ее кривизну  определяют по формулам:

 (25)

 (26)

Укорочение ε*csc,i* оси *i*-той части бетонного се­чения и ее кривизну  находят по фор­мулам:

 (27)

 (28)

где *Ared,i*, *Ared*, *ybi*, *Ired,i*, *Ired*, *hi*, *yyi* принимают по указаниям п. 1.15;

γ*t* см. п. 1.27;

*tbi* и *tbi+*1 см. черт. 2;

α*csi* и α*csi*+1 коэффициенты, принимаемые по табл. 15 в зависимости от температуры более и менее нагретой грани *i*-той части сечения;

ε*ci* — деформации ползучести бетона в *i*-той части сечения, определяе­мые по формуле (29) со зна­ком минус":

 (29)

где σ*b,tem,i*, σ*bi* напряжения сжатия в бетоне *i*-той части сечения от усилий, вызванных температурой и на­грузкой при нагреве, определяемые по формулам (32) и (33), в которых коэффициент принимается по табл. 12 для кратковременного нагрева с подъемом температуры 10 С/ч;

*βbi —* коэффициент, принимаемый по табл. 10 в зависимости от температуры *i-*той грани сечения;

 *—* коэффициент, принимаемый по табл. 12 в зависимости от температуры *i*-той грани сечения для длительного нагрева;

б) при остывании неравномерно нагретого бетона с прямолинейным распределением температуры по высоте сечения элемента от усадки бетона укоро­чение ε*cs* оси элемента и ее кривизну  допускается определять по формулам:

 (30)

 (31)

где α*cs* и α*cs*1 — коэффициенты, принимаемые по табл. 15 в зависимости от температуры бетона менее и более нагретой грани сечения;

γ*t*, *tb*, *tb*1 — принимают по указаниям п. 1.27.

**1.29.** Для участков бетонного и железобетонного элемента, где в растянутой зоне бетона не образу­ются трещины, нормальные к продольной оси элемента напряжения в бетоне грани *i*-той части сечения, следует определять:

растяжения при нагревании от нелинейного распределения температуры по формуле

 (32)

сжатия при нагревании от кратковременных усилий по формуле

 (33)

растяжения при остывании от усадки и ползу­чести бетона по формуле

 (34)

где *ybi*, ε*t*,  — определяются соответственно по формулам (13), (17) и (18);

α*bti*, *tbi —* принимают по указаниям п. 1.27;

*Еb*  принимают по табл. 11;

α*csi*, β*bi* и  — коэффициенты, принимаемые по табл. 10, 12 и 15 в зависи­мости от температуры бетона грани *i*-той части сечения;

*M* и *N —* момент и продольная сила, приложенная к центру тяжести сечения от воздействия нагруз­ки и температуры;

*Аred* и *В —* принимают соответственно указаниям пп. 1.15 и 4.17;

ε*ci*, ε*csc* и *—* определяют соответственно по формулам (29), (25) и (26).

Если в формуле (32) напряжения имеют знак "минус", то в бетоне возникают напряжения сжатия и σ*btt,i* заменяется σ*b,tem,i*.

**1.30.** Для участков железобетонного элемента. где в растянутой зоне образуются трещины, нор­мальные к продольной оси элемента, деформации от нагрева следует рассчитывать согласно следую­щим указаниям:

а) для железобетонного элемента с трещинами в растянутой зоне, расположенной у менее нагретой грани сечения (черт. 3, *б*), удлинение ε*t* оси эле­мента и ее кривизну  определяют по фор­мулам:

 (35)

 (36)

б) для участков железобетонного элемента с трещинами в растянутой зоне бетона, расположен­ной у более нагретой грани сечения (черт. 3, *в*), удлинение ε*t* оси элемента определяют по фор­муле (35) и ее кривизну  — по формуле

 (37)

в) для участков железобетонного элемента с трещинами по всей высоте сечения (черт. 3, *г*) удлинение ε*t* оси элемента и ее кривизну  определяют по формулам:

 (38)

 (39)

где *ts*, *t’s* *—* температура арматуры *S* и *S’*;

*tb* — температура бетона сжатой грани сечения;

α*stm*, α’*stm* коэффициенты, определяемые по формуле (49) для арматуры *S* и *S’*;

α*bt* — коэффициент, принимаемый по табл. 14 в зависимости от температуры бетона более или менее нагретой грани сечения;

γ*t* — принимается по указаниям п. 1.27;

*a’*  толщина защитного слоя более нагретой грани;

г) при равномерном нагреве железобетонною элемента кривизну  оси элемента допуска­ется принимать равной нулю. В железобетонных элементах из обычного бетона при температуре арматуры до 100 С и из жаростойкого бетона при температуре арматуры до 70 С для участков с трещинами в растянутой зоне бетона допуска­ется определять удлинение оси элемента ε*t* и ее кривизну  по формулам (23) и (24) как для бетонных элементов без трещин.

**1.31.** Для участков железобетонных элементов, где в растянутой зоне образуются трещины, нор­мальные к продольной оси элемента от усадки бетона, при остывании укорочение ε*cs* оси элемента и ее кривизну  допускается находить по фор­мулам (30) и (31).

**1.32.** Определение усилий в статически неопреде­лимых конструкциях от воздействия температуры должно производиться по формулам строительной механики с принятием действительной жесткости сечений. При переменной эпюре моментов по длине пролета жесткость сечений вычисляют в зависи­мости от действующих усилий для достаточного числа участков, на которые разбивают пролет элемента, принимая на каждом участке жесткости сечения по указаниям пп. 4.17 и 4.18. При опреде­лении жесткости следует учитывать усилия от нагрузки и воздействия температуры согласно табл. 1 и 2.

Удлинение оси каждого участка длины элемента и ее кривизна от воздействия температуры должны вычисляться по указаниям пп. 1.26 — 1-30.

Расчет статически неопределимых железобетон­ных конструкций на воздействие температуры необходимо выполнять методом последовательных приближении до тех пор, пока величина усилия, полученная в последнем приближении, будет отли­чаться от усилий предыдущего приближения не более, чем на 5 %.

Расчет усилий в статически неопределимых кон­струкциях, как правило, следует выполнять с при­менением ЭВМ. При использовании малых вычис­лительных машин и ручном счете допускается при­нимать приведенные постоянные по длине элемента: жесткость сечений *Bred*, удлинение оси ε*red,t* и ее кривизну 

Приведенная жесткость сечения определяется по формуле

 (40)

где *В —* жесткость сечения элемента с трещинами в растянутой зоне в месте действия наибольшего изгибающего момента *М*, определяемая по указаниям п. 4.18;

*В*1 *—* жесткость сечения элемента без трещин, определяемая по указа­ниям п. 4.17.

Приведенное удлинение ε*red,t* оси элемента и ее кривизну  от нагрева определяют по фор­мулам:

 (41)

 (42)

 (43)

при 

*М* и *Мcrc —* наибольший изгибающий момент и момент, воспринимаемый сече­нием, нормальным к продольной оси элемента при образовании трещин, определяемый по указа­ниям п. 4.3;

*е* — основание натуральных логарифмов;

 удлинение оси иее кривизна эле­ментабез трещин от воздействия температуры, определяемые по указаниям п. 1.27;

 — удлинение оси и ее кривизна эле­мента с трещинами в растянутой зоне, определяемые по указаниям п. 1.30.

**1.33.** Изгибающий момент от неравномерного нагрева бетона по высоте сечения при равномер­ном нагреве бетона по длине элементе, заделанного на опоре от поворота, а также в замкнутых рамах кольцевого, квадратного и прямоугольного очер­тания, имеющих одинаковые сечения, определяют по формуле

 (44)

а изгибающий момент при остывании от усадки и ползучести бетона

 (45)

где  — температурная кривизна оси элемента от кратковременного или длительного нагрева, определяемая по указаниям пп. 1.27 и 1.30;

 — кривизна оси элемента при остывании от усадки и ползучести бетона, определяемая по формуле (26). Допускается кривизну определять по формуле

 (46)

где — кривизна оси элемента при остывании от усадки бетона, определяемая по формуле (31);

 — кривизна оси элемента при остывании от ползучести бетона определяется по формуле (47) со знаком "минус"

 (47)

здесь *Мt* и *М’t —* температурные моменты соответственно для кратковременного и длительного нагрева определя­ются по формуле (44), принимая температурную кривизну для кратковременного нагрева при значении α*bt* по табл. 14 для подъема температуры на 10 С/чи более независимо от длитель­ности нагрева;

*В —* жесткость сечения, определяемая по указаниям пп. 4.17 и 4.18; в формуле (44) вычисляется для кратковременного или длитель­ного нагрева, а в формулах (45) и (47) для кратковременного нагрева со скоростью 10 С/ч и более независимо от длительности нагрева..

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР**

**В СЕЧЕНИЯХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ**

**1.34.** Расчет распределения температур в бетон­ных и железобетонных конструкциях для устано­вившегося теплового потока следует проводить, пользуясь методами расчета температур ограждающих конструкций согласно СНиП 2.01.01-82.

Расчет распределения температур в ограждающих конструкциях сложной конфигурации сечений эле­ментов, в массивных конструкциях, в конструкциях, находящихся ниже уровня земли, а также при неустановившемся тепловом потоке .с учетом переменной влажности бетона по сечению должен производиться методами расчета температурных полей или теории теплопроводности либо по соответствующим нормативным документам.

Расчет распределения температур в стенках боровов и каналов, расположенных под землей, допускается производить:

для кратковременного нагрева, принимая сече­ние по высоте стен неравномерно негретым с прямо­линейным распределением температур бетона и величину коэффициента теплоотдачи наружной по­верхности стенки α*е* — по табл. 6;

Таблица 6

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Коэффициенты теплоотдачи | Температура наружной поверхности и воздуха, С | | | | | | | | | | |
| Вт/(м2 ⋅ С) | 0 | 50 | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 700 | 900 | 1100 | 1200 |
| α*е* | 8 | 12 | 14 | 20 | 26 |  |  |  |  |  |  |
| α*i* |  | 12 | 12 | 12 | 14 | 18 | 23 | 47 | 82 | 140 | 175 |

Примечание. Коэффициенты α*е* и α*i* для промежуточных значений температур определяют по интерполяции.

для длительного нагрева, принимая сечение по высоте стен равномерно нагретым.

Температуру арматуры в сечениях железобетон­ных элементов допускается принимать равной температуре бетона в месте ее расположения.

**1.35.** Для конструкций, находящихся на наруж­ном воздухе, коэффициент теплоотдачи наружной поверхности α*е*, Вт/(м2⋅С), в зависимости от скорости ветра следует определять по формуле

 (48)

где *v* — скорость ветра, м/с.

При расчете наибольших усилий в конструкциях от воздействия температуры принимают максималь­ную из средних скоростей ветра по румбам за январь, повторяемость которых составляет 16 % и более, а при определении максимальной темпера­туры нагрева бетона и арматуры принимают мини­мальную из средних скоростей ветра по румбам за июль, повторяемость которых составляет 16 % и более согласно СНиП 2.01.01-82, но не менее 1 м/с.

Для конструкций, находящихся в помещении или на наружном воздухе, но защищенных от воз­действия ветра, коэффициент теплоотдачи наружной поверхности а; принимают по табл. б.

Коэффициент теплоотдачи внутренней поверх­ности конструкции α*i* следует определять, как правило, методом расчета теплопередачи как для случая сложного теплообмена. При определении распределения температуры бетона по сечению элемента допускается коэффициент α*i* принимать по табл. 6 в зависимости от температуры воздуха производственного помещения или рабочего прост­ранства теплового агрегата.

**1.36.** Коэффициент теплопроводности λ бетона в сухом состоянии должен приниматься по табл. 7 в зависимости от средней температуры бетона в сечении элемента. Коэффициент теплопроводности λ огнеупорных и теплоизоляционных материалов должен приниматься по табл. 8.

Термическое сопротивление невентилируемой воздушной прослойки независимо от ее тол­щины и направления следует принимать равным, м2⋅С/Вт:

0,140 .......... при 50 С

0,095 .......... " 100 "

0,035 .......... " 300 "

0,013 .......... " 500 "

Для промежуточных температур термическое сопротивление воздушной прослойки принимается по интерполяции.

Таблица 7

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номера составов бетона по табл. 9 | Коэффициент теплопроводности λ, Вт/(м ⋅С) обычного  и жаростойкого батонов в сухом состоянии при средней  температуре бетона в сечении элемента, С | | | | | |
|  | 50 | 100 | 300 | 500 | 700 | 900 |
| 1 | 1,51 | 1,37 | 1,09 |  |  |  |
| 20 | 2,68 | 2,43 | 1,94 | 1,39 | 1,22 | 1,19 |
| 21 | 1,49 | 1,35 | 1,37 | 1,47 | 1,57 | 1,63 |
| 2, 3, 6, 7, 13 | 1,51 | 1,37 | 1,39 | 1,51 | 1,62 |  |
| 10, 11 | 0,93 | 0,89 | 0,84 | 0,87 | 0,93 | 1,05 |
| 14, 15, 16, 17, 18 | 0,99 | 0,95 | 0,93 | 1,01 | 1,04 | 1,28 |
| 19 | 0,87 | 0,83 | 0,78 | 0,81 | 0,87 | 0,99 |
| 4, 5, 8, 9 | 0,81 | 0,75 | 0,63 | 0,67 | 0,70 |  |
| 12 | 0,93 | 0,88 | 0,81 | 0,90 |  |  |
| 23 | 0,37  0,43 | 0,39  0,45 | 0,46  0,52 | 0,52  0,58 | 0,58  0,64 |  |
| 29 | 0,44  0,60 | 0,46  0,52 | 0,52  0,58 | 0,58  0,64 | 0,64  0,70 | 0,70  0,76 |
| 24 | 0,27  0,38 | 0,29  0,41 | 0,34  0,45 | 0,40  0,50 | 0,45  0,55 | 0,51  0,59 |
| 30 | 0,31  0,44 | 0,34  0,46 | 0,37  0,51 | 0,43  0,56 | 0,49  0,60 |  |
| 26, 28 | 0,21 | 0,23 | 0,28 | 0,33 | 0,37 | 0,42 |
| 22, 25, 27, | 0,29 | 0,31 | 0,36 | 0,42 | 0,48 | 0,53 |
| 31, 32, 36 |  |  |  |  |  |  |
| 33 | 0,21 | 0,22 | 0,25 | 0,29 | 0,33 | 0,37 |
| 34, 35, 37 | 0,24 | 0,27 | 0,31 | 0,37 | 0,43 | 0,49 |

Примечания: 1. Коэффициенты теплопроводности батонов составов 23 и 29 приведены: над чертой для бетонов со средней плотностью 1350, под чертой 1550; для бетонов составов 24 и 30 соответственно 950 и 1250 кг/м3. Если средняя плотность бетона отличается от указанных величин, то в этом случае коэффициент теплопроводности прини­мают интерполяцией.

2. Коэффициент теплопроводности λ обычного и жаро­стойкого бетонов с естественной влажностью после нор­мального твердения или тепловой обработки при атмо­сферном давлении при средней температуре бетона в сече­нии элемента до 100 С следует принимать по данным таблицы, увеличенным на 30 %.

3. Для промежуточных значений температур величину коэффициента теплопроводности λ определяют интерполя­цией.

Таблица 8

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Материалы | Средняя плотность  в сухом состоянии, кг/м3 | Предельно допус­тимая температура применения, С | Коэффициент теплопроводности λ, Вт/(м ⋅С) огнеупорных и теплоизоляционных материалов  в сухом состоянии при средней температуре материала в сечении элемента, С | | | | | |
|  |  |  | 50 | 100 | 300 | 500 | 700 | 900 |
| 1. Изделий огнеупорные шамотные, ГОСТ 390-83 | 1900 |  | 0,63 | 0,77 | 0,88 | 1,01 | 1,14 | 1,27 |
| 2. Изделия шамотные легко­весные, ГОСТ 5040-78 | 400 | 1150 | 0,13 | 0,14 | 0,17 | 0,20 | 0,23 | 0,27 |
| 3. То же | 800 | 1270 | 0,23 | 0,24 | 0,29 | 0,34 | 0,38 | 0,43 |
| 4. " | 1000 | 1300 | 0,34 | 0,35 | 0,42 | 0,49 | 0,56 | 0,63 |
| 5. " | 1300 | 1400 | 0,49 | 0,56 | 0,58 | 0,65 | 0,73 | 0,81 |
| 6. Изделия огнеупорные динасовые, ГОСТ 4157-79 | 1900 |  | 1,60 | 1,62 | 1,70 | 1,78 | 1,85 | 1,93 |
| 7. Изделия динасовые легко­весные, ГОСТ 5040-78 | 1200 1400 | 1550 | 0,57 | 0,58 | 0,64 | 0,70 | 0,75 | 0,81 |
| 8. Изделия каолиновые, ГОСТ 20901-75 | 2000 |  | 1,79 | 1,80 | 1,86 | 1,90 | 1,95 | 2,01 |
| 9. Изделия высокоглиноземистые, ГОСТ 24704-81 | 2600 |  | 1,76 | 1,74 | 1,68 | 1,65 | 1,60 | 1,55 |
| 10. Изделия огнеупорные магнезитовые, ГОСТ 4689-74 | 2700 |  | 6,00 | 5,90 | 5,36 | 4,82 | 4,30 | 3,75 |
| 11. Изделия высокоогнеупорные периклазохромитовые, ГОСТ 10888-76 | 2800 |  | 4,02 | 3,94 | 3,60 | 3,28 | 2,94 | 2,60 |
| 12. Изделия высокоогнеупорные хромомагнезитовые, ГОСТ 5381-72 | 2950 |  | 2,74 | 2,71 | 2,54 | 2,36 | 2,18 | 2,01 |
| 13. Кирпич глиняный обыкновенный, ГОСТ 530-80 | 1700 |  | 0,56 | 0,59 | 0,70 | 0,81 |  |  |
| 14. Изделия пенодиатомитовые теплоизоляционные, ГОСТ 2694-78 | 350 | 900 | 0,09 | 0,10 | 0,13 | 0,15 | 0,18 |  |
| 15. То же | 400 | 900 | 0,10 | 0,11 | 0,14 | 0,16 | 0,19 |  |
| 16. Изделия диатомитовые теплоизоляционные, ГОСТ 2694-78 | 500 | 900 | 0,12 | 0,13 | 0,19 | 0,23 | 0,28 |  |
| 17. То же | 600 | 900 | 0,14 | 0,15 | 0,21 | 0,25 | 0,30 |  |
| 18. Маты минераловатные прошивные на металлической сетке, ГОСТ 21880-76 | 75 100 | 600 | 0,05 | 0,06 | 0,11 | 0,15 | — | — |
| 19. Маты минераловатные прошивные, ГОСТ 21880-76 | 125 | 600 | 0,05 | 0,06 | 0,11 | 0,16 |  |  |
| 20. То же | 150 | 600 | 0,05 | 0,06 | 0,11 | 0,16 |  | - |
| 21. Плиты и маты теплоизоляционные из минеральной ваты на синтетическом связующем, ГОСТ 9573-82 | 50 75 | 400 | 0,05 | 0,07 | 0,13 |  |  |  |
| 22. То же | 125 | 400 | 0,05 | 0,07 | 0,11 |  |  |  |
| 23. | 175 | 400 | 0,05 | 0,07 | 0,11 |  |  |  |
| 24. Маты теплоизоляционные из ваты каолинового со­става,  ТУ 14-8-78-73 | 150 | 1100 | 0,05 | 0,06 | 0,12 | 0,18 | 0,24 | 0,31 |
| 25. То же | 300 | 1100 | 0,06 | 0,07 | 0,13 | 0,19 | 0,25 | 0,35 |
| 26. Изделия из стеклянного штапельного волокна, ГОСТ 10499-78 | 170 | 450 | 0,06 | 0,07 | 0,14 | — |  |  |
| 27. Перлито-фосфогелевые изделия без гидроизоляционно-упрочняющего покрытия, ГОСТ 21500-76 | 200 | 600 | 0,07 | 0,08 | 0,10 | 0,12 | — | — |
| 28. То же | 250 | 600 | 0,08 | 0,09 | 0,11 | 0,14 |  |  |
| 29. " | 300 | 600 | 0,08 | 0,09 | 0,14 | 0,16 |  |  |
| 30. Перлито-цементные изделия, ГОСТ 18109-80 | 250 | 600 | 0,07 | 0,09 | 0,13 | 0,16 |  |  |
| 31. То же | 300 | 600 | 0,08 | 0,10 | 0,14 | 0,17 |  |  |
| 32. " | 350 | 600 | 0,09 | 0,11 | 0,15 | 0,18 |  |  |
| 33. Перлитокерамические изделия, ГОСТ 21521-76 | 250 | 875 | 0,08 | 0,09 | 0,12 | 0,16 | 0,19 |  |
| 34. То же | 300 | 875 | 0,09 | 0,10 | 0,13 | 0,17 | 0,20 |  |
| 35. " | 350 | 875 | 0,10 | 0,11 | 0,14 | 0,18 | 0,21 |  |
| 36. " | 400 | 875 | 0,11 | 0,12 | 0,15 | 0,19 | 0,22 |  |
| 37. Известково-кремнеземистые изделия, ГОСТ 24748-81 | 200 | 600 | 0,07 | 0,08 | 0,10 | 0,12 |  |  |
| 38. Изделия на основе кремнеземного волокна, ТУ 207-67 | 120 | 1200 | 0,06 | 0,07 | 0,10 | 0,14 | 0,17 | 0,21 |
| 39. Савелитовые изделия, ГОСТ 6788-74 | 350 | 500 | 0,08 | 0,09 | 0,11 |  |  |  |
| 40. То же | 400 | 500 | 0,09 | 0,10 | 0,12 |  |  |  |
| 41. Вулканитовые изделия, ГОСТ 10179-74 | 300 | 600 | 0,08 | 0,09 | 0,11 | 0,13 |  |  |
| 42. То же | 350 | 600 | 0,08 | 0,09 | 0,11 | 0,14 |  |  |
| 43. " | 400 | 600 | 0,09 | 0,10 | 0,12 | 0,14 |  |  |
| 44. Пеностекло, СТУ 85-497-64 | 200 | 500 | 0,08 | 0,09 | 0,13 |  |  |  |
| 45. Асбестовермикулитовые плиты, ГОСТ 13450-68 | 250 | 600 | 0,09 | 0,11 | 0,16 | 0,21 |  |  |
| 46. То же | 300 | 600 | 0,10 | 0,11 | 0,16 | 0,21 |  |  |
| 47. " | 350 | 600 | 0,10 | 0,12 | 0,17 | 0,22 |  |  |
| 48. Изделия муллитокремне-земистые огнеупорные волокнистые теплоизоляционные марки МКРВ-З50, ТУ 14-8-159-75 | 350 | 1160 | 0,11 | 0,12 | 0,15 | 0,19 | 0,22 | 0,29 |
| 49. Диатомитовая крошка обожженная, ТУ 36-888-67 | 500  600 | 900  900 | 0,01  0,03 | 0,03  0,04 | 0,06  0,09 | 0,10  0,15 | 0,13  0,20 | 0,17  0,25 |
| 50. Вермикулит вспученный, ГОСТ 12865-67 | 100 | 1100 | 0,07 | 0,09 | 0,14 | 0,20 | 0,26 | 0,31 |
| 51. То же | 150 | 1100 | 0,08 | 0,09 | 0,15 | 0,21 | 0,27 | 0,32 |
| 52. " | 200 | 1100 | 0,08 | 0,10 | 0,15 | 0,21 | 0,27 | 0,33 |
| 53. Асбозурит | 600 | 900 | 0,17 | 0,18 | 0,21 | 0,24 |  |  |
| 54. Картон асбестовый, ГОСТ 2850-80 | 1000 1300 | 600 | 0,16 | 0,18 | 0,20 | 0,22 |  |  |

Примечания: 1. Коэффициент теплопроводности λ огнеупорных (поз. 113) и теплоизоляционных (поз. 1454) мате­риалов с естественной влажностью при средней температуре нагрева материала в сечении элемента до 100 С следует принимать по табличным данным, увеличенным соответственно на 30 м 10 %.

2. Коэффициент теплопроводности λ для промежуточных значений температур определяется интерполяцией.

**1.37.** При расчете распределения температуры по толщине конструкции необходимо учитывать раз­личие площадей теплоотдающей и тепловоспринимающей поверхностей:

при круговом очертании, если толщина стенки более 0,1 наружного диаметра;

при квадратном или прямоугольном очертании, если толщина стенки более 0,1 длины большей стороны;

при произвольном очертании, если разница в площадях теплоотдающей и тепловоспринимающей поверхностей более 10 %.

**1.38.** В ребристых конструкциях, когда наруж­ные поверхности бетонных ребер и тепловой изоля­ции совпадают, расчет температуры в бетоне должен производиться по сечению ребра. Если бетонные ребра выступают за наружную поверхность тепло­вой изоляции, расчет температуры в бетоне ребра должен выполняться по методам расчета темпера­турных полей или по соответствующим норматив­ным документам.

**1.39.** Температура бетона в сечениях конструкций от нагрева при эксплуатации должна определяться теплотехническим расчетом установившегося тепло­вого потока при заданной по проекту расчетной тем­пературе рабочего пространства или воздуха произ­водственного помещения.

Для конструкций, находящихся на наружном воздухе, наибольшие температуры нагрева бетона и арматуры определяются по расчетной летней температуре наружного воздуха, принимаемой по средней максимальной температуре наружного воз­духа наиболее жаркого месяца в районе строитель­ства по СНиП 2.01.01-82. Вычисленные темпера­туры не должны превышать предельно допустимые температуры применения бетона по ГОСТ 20910— 82 и арматуры по табл. 17.

**1.40.** При расчете статически неопределимых конструкций, работающих в условиях воздействия температур, теплотехнический расчет должен произ­водиться на расчетную температуру рабочего прост­ранства и на температуру, вызывающую наибольшие усилия, определяемые по указаниям п. 1.10.

При расчете наибольших усилий от воздействия температуры в конструкциях, находящихся на наружном воздухе, температуру бетона и арматуры вычисляют по расчетной зимней температуре наруж­ного воздуха, принимаемой по температуре на­ружного воздуха наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92 по СНиП 2.01.01-82.

**2. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ БЕТОННЫХ**

**И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**БЕТОН**

**2.1.** Дли бетонных и железобетонных конструкций, предназначенных для работы в условиях воз­действия повышенных и высоких температур, следует предусматривать:

обычный бетон — конструкционный тяжелый бетон средней плотности свыше 2200 до 2500 кг/м3 включительно по ГОСТ 25192—82;

жаростойкий бетон конструкционный и теплоизоляционный плотной структуры средней плот­ности 900 кг/м3 и более по ГОСТ 20910-82, составы которых приведены в табл. 9.

Жаростойкий бетон средней плотности до 1100 кг/м3 включительно следует предусматривать преимущественно для ненесущих ограждающих кон­струкций и в качестве теплоизоляционных материалов.

Жаростойкий бетон средней плотности более 1100 кг/м3 надлежит предусматривать для несущих конструкций.

**2.2.** При проектировании бетонных и железобетон­ных конструкций, работающих в условиях воздей­ствия повышенных и высоких температур в зависи­мости от их назначения и условий работы, должны устанавливаться показатели качества бетона, основ­ными из которых являются:

а) класс бетона по прочности на сжатие В;

б) класс обычного бетона по прочности на осевое растяжение В*t* (назначается в случаях, когда эта характеристика имеет главенствующее значение и контролируется на производстве);

в) класс жаростойкого бетона по предельно допустимой температуре применения согласно ГОСТ 20910—82 (должен указываться в проекте во всех случаях);

г) марка жаростойкого бетона по термической стойкости в водных Т1 и воздушных Т2 теплосменах (должна назначаться для конструкций, к кото­рым предъявляются требования по термической стойкости);

д) марка по водонепроницаемости W (должна назначаться для конструкций, к которым предъяв­ляются требования по ограничению водопроницае­мости);

е) марка по морозостойкости F (должна назна­чаться для конструкций, которые в период строи­тельства или при остановке теплового агрегата могут подвергаться эпизодическому воздейст­вию температуры ниже 0 С);

ж) марка по средней плотности D (назначается для конструкций, к которым кроме конструктив­ных предъявляются требования теплоизоляции и контролируется при их изготовлении).

**2.3.** Для бетонных и железобетонных конструк­ций, предназначенных для работы в условиях си­стематического воздействия повышенных и высо­ких температур, предусматривают батоны:

а) классов по прочности на сжатие:

обычный бетон (состав № 1 по табл. 9) — по СНиП 2.03.01-84 до В50 включ.;

жаростойкий бетон (составов по табл. 9):

№ 2, 3, 6, 7 В3,5; В5; В7,5; В10; В12,5; В15; В20; В25; В30; В35; В40;

№ 10, 11, 21 В3,5; В5; В7,5; В10; В12,5; В15; В20; В25; В30 и В35;

№ 19, 20 В2,5; В3,5; В5; В7,5; В10; В12,5; В15; В20; В25; В30;

№ 12, 13, 14, 15 В2; В2,5; В5; В7,5; В10; В12,5; В15; В20;

№ 4, 5, 8, 9, 16, 17, 18, 23, 29 В2; В2,5; В3,5; В5; В7,5; В10; В12,5; В15;

№ 24, 27, 30 В2; В2,5; В3,5; В5; В7,5; В10;

№ 22, 24, 30, 32, 35, 36, 37 В1; В1,5; В2; В2,5; В3,5; В5;

№ 25, 28, 31, 32, 34 В1; В1,5; В2; В2,5; В3,5;

№ 26, 33 В1; В1,5; В2; В2,5;

б) обычный бетон классов по прочности на осе­вое растяжение: (состав № 1 по табл. 9) В*t*0,8; В*t*1,2; В*t*1,6; В*t*2; В*t*2,4;

в) жаростойкий бетон марок по термической стойкости в водных теплосменах (составов № 2 — 21,23 и 29 по табл. 9) Т15; Т110; Т115 и Т125;

в воздушных теплосменах (составов № 22, 24, 27, 30, 32, 3537 по табл. 9) Т210; Т215; Т220 и Т225.

Для бетона других составов марка по термичес­кой стойкости в водных и воздушных теплосменах не нормируется;

г) марок по водонепроницаемости:

обычный бетон (состав № 1) и жаростойкий бетон (составов № 221, 23 и 29 по табл. 9) W2, W4, W6 и W8.

Для бетона других составов марка по водонепроницаемости не нормируется;

д) марок по морозостойкости:

обычный бетон (состав № 1) и жаростойкий бетой(составов № 221, 23 и 29 по табл. 9) F15, F25, F35, F50 и F75.

Для бетона других составов марка по морозо­стойкости не нормируется;

е) жаростойкий бетон марок по средней плотности (составов по табл. 9):

№ 4 и 8 D1800;

№ 23 и 29 D1700, D1600, D1500;

№ 24, 30 D1400, D1300, D1200;

№ 22, 24, 26, 28, D1100;

30, 32, 33 и 36

№ 25, 27, 32, 34, D1000;

35 и 37

№ 31 и 32 D900.

Для бетона других составов марка по средней плотности не нормируется.

Возраст бетона, отвечающий его классу и марке, назначается при проектировании исходя из реаль­ных сроков фактического загружения проектными нагрузками и нагрева конструкции, способов их возведения и условий твердения. При отсутствии этих данных класс и марка бетона устанавливаются в возрасте 28 сут.

Значение отпускной прочности бетона в эле­ментах сборных конструкций, выполненных из обычного тяжелого бетона, устанавливается по ГОСТ 13015.0-83 и жаростойкого бетона по ГОСТ 23521-79.

**2.4.** Для бетонных и железобетонных конструк­ций. предназначенных для работы в условиях воз­действия повышенных и высоких температур, необходимо предусматривать характеристики бетона с учетом следующих требований:

а) для железобетонных конструкций из обыч­ного бетона, работающих в условиях воздействия повышенных температур, класс бетона по проч­ности на сжатие и на осевое растяжение следует принимать по СНиП 2.03.01-84.

Для железобетонных конструкций из жаростой­кого бетона, работающих в условиях воздействия высоких температур, рекомендуется принимать класс бетона по прочности на сжатие:

для сборных несущих элементов ... не ниже В7,5

для монолитных конструкций при

постоянном нагреве, С (см. п. 1.3):

до 500 ........................................ не ниже В5

св. 500 ....................................... В7,5

при ударных и истирающих воздей-

ствиях, а также при циклическом

нагреве, С: до

до 500 ....................................... не ниже В7,5

св. 500....................................... В10

Для предварительно напряженных железобетон­ных конструкций из обычного и жаростойкого бетонов, работающих в условиях воздействия повы­шенных и высоких температур, класс бетона по прочности на сжатие должен приниматься в зависи­мости от вида и класса напрягаемой арматуры, ее диаметра и наличия анкерных устройств по СНиП 2.03.01-84;

б) для бетонных и железобетонных конструкций, работающих в условиях воздействия высоких тем­ператур:

жаростойкие батоны (состава № 2—21, 23 и 29 по табл. 9) должны иметь марку по терми­ческой стойкости в водных теплосменах, не менее, при нагреве:

постоянном ................................. Т15

циклическом ............................... Т115

циклическом с резким охлажде-

нием воздухом или водой ......... Т125

жаростойкие бетоны (состава № 22, 24, 27, 30, 32, 35—37 по табл. 9) должны иметь марку по терми­ческой стойкости в воздушных теплосменах, не менее, при нагреве:

постоянном .............................. Т210

циклическом ............................ Т220

в) для железобетонных конструкций из обыч­ного (состав № 1) и жаростойкого бетона (составов № 221, 23 и 29 по табл. 9) марки по водонепроницаемости должны быть, не менее, для:

фундаментов, боровов и других со-

оружений, находящихся под землей

ниже уровня грунтовых вод ............. W4

тепловых агрегатов и других со-

оружений, находящихся над землей

и подвергающихся атмосферным

осадкам ............................................. W8

г) для бетонных и железобетонных конструкций, работающих в условиях воздействия повышенных и высоких температур, которые в период строитель­ства или при остановке теплового агрегата могут подвергаться эпизодическому воздействию темпе­ратуры ниже 0 С в условиях воздушно-влажного состояния, обычный бетон (состава № 1) и жаро­стойкий (составов № 2, 3, 6, 7, 13, 20 и 21 по табл. 9) должны иметь марку по морозостойкости согласно СНиП 2.03.01-84.

д) требования к конструкциям и изделиям из жаростойкого бетона, предназначенным для экс­плуатации в условиях воздействия агрессивной

Таблица 9

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер состава | Класс бетона по предельно | Исходные материалы | | | | Наибольший класс бе­тона | Средняя плотность |
| бетона | допустимой температуре применения | вяжущее | отвердитель | тонкомолотая добавка | заполнители | по прочности  на сжатие | бетона естественной влажности кг/м3 |
|  | **Обычный бетон** | | | | | | |
| 1 |  | Портландцемент, быстротвер-деющий портландцемент, шлако-портландцемент | Не применяется | Не применяется | Гранитовые, доломитовые, плотные известняковые, сие­нитовые, плотные пески | В50 | 2200 2500 |
|  | **Жаростойкий бетон** | | | | | | |
| 2 | 3 | То же | То же | То же | Андезитовые, базальтовые, диа­базовые, диоритовые | В40 | 2400 |
| 3 | 3 |  |  |  | Из доменных отвальных шлаков | В40 | 2400 |
| 4 | 9 |  |  | Из золы уноса | Аглопоритовые  Из боя глиняного кирпича | В15  В15 | 1800  1900 |
| 5 | 8 |  |  | Из литого шлака, золы уноса, боя глиняного кирпича | Из шлаков металлургических пористых (шлаковая пемза) | В15 | 2000 |
| 6 | 7 |  |  | Шамотная, из золы уноса, боя глиняного кирпича, из отваль­ного и гранулированного домен­ного шлака | Андезитовые, базальтовые, диа­базовые, диоритовые | В40 | 2400 |
| 7 | 7 |  |  | То же | Из доменных отвальных шлаков | В40 | 2400 |
| 8 | 8 |  |  | Из отвального и гранулирован­ного доменного шлака, боя глиняного кирпича, золы уноса | Из шлаков топливным, туфо­вые | В15 | 1800 |
| 9 | 9 |  |  | Из боя глиняного кирпича | Из боя глиняного кирпича | В15 | 1900 |
| 10 | 11 | Портландцемент, быстротвер-деющий портландцемент |  | То же, и их золы уноса | Шамотные кусковые и из боя изделий | В35 | 2000 |
| 11 | 12 | Портландцемент, быстротвер-деющий портландцемент | Не применяется | Шамотная | Шамотные кусковые и их боя изделий | В35 | 2000 |
| 12 | 8 | Жидкое стекло | Саморассыпающиеся шлаки | Из шлаков ферромарганца, силикомарганца | Из шлаков ферромарганца, силикомарганца | В20 | 2100 |
| 13 | 6 | То же | Кремнефтористый натрий, нефелиновый шлам, саморассы-пающиеся шлаки | Шамотная | Андезитовые, безальтовые, диабазовые | В20 | 2500 |
| 14 | 10 |  | Кремнефтористый натрий | Шамотные, из катализатора ИМ-2201 отработанного | Шамотные кусковые и из боя изделий | В20 | 2100 |
| 15 | 11 |  | Нефелиновый шлам, саморас-сыпающиеся шлаки | То же | Из смеси шамотных кусковых или из боя изделий и карбо­рунда | В20 | 2300 |
| 16 | 13 | " | Кремнефтористый натрий | Магнезитовая | Шамотные кусковые и из боя изделий | В15 | 2100 |
| 17 | 12 |  | Нефелиновый шлам, саморас-сыпающиеся шлаки | Шамотная, из катализатора ИМ-2201 отработанного | То же | В15 | 2100 |
| 18 | 13 |  | То же | Магнезитовая |  | В15 | 2100 |
| 19 | 13 | Глиноземистый цемент | Не применяется | Не применяется |  | В30 | 2100 |
| 20 | 12 | То же | То же | То же | Из передельного феррохрома | В30 | 2800 |
| 21 | 14 |  |  |  | Муллитокорундовые кусковые и из боя изделий | В35 | 2800 |
| 22 | 6 | Портландцемент | Не применяется | Шамотная, из боя глиняного кирпича, золы уноса, из отвального и гранулированного доменного шлака, катализатора ИМ-2201 отработанного | Вспученный перлит | В5 | 1100 |
| 23 | 11 | То же | То же | Шамотная, из катализатора ИМ-2201 отработанного | Керамзитовые с насыпной плотностью 550650 кг/м3 | В15 | 1500 1700 |
| 24 | 10 |  |  | То же | Керамзитовые с насыпной плотностью 350500 кг/м3 | В5 В10 | 1100 1400 |
| 25 | 10 |  |  | Шамотная, из боя глиняного кирпича, из золы уноса керамзитовая, аглопоритовая, из вулканического пепла | Из смеси керамзита и вспученного вермикулита | В3,5 | 1000 |
| 26 | 10 |  |  | То же | Вспученный вермикулит | В2,5 | 1100 |
| 27 | 8 | Жидкое стекло | Кремнефтористый натрий | Шамотная, из катализатора ИМ-2201 отработанного | Из смеси керамзита и вспученного вермикулита | В10 | 1000 |
| 28 | 8 | То же | То же | То же | Вспученный вермикулит | В3,5 | 1100 |
| 29 | 8 |  |  |  | Керамзитовые с насыпной плотностью 550650 кг/м3 | В15 | 1500 1700 |
| 30 | 8 | Жидкое стекло | Кремнефтористый натрий | Шамотная, из катализатора ИМ-2201 отработанного | Керамзитовые с насыпной плотностью 350500 кг/м3 | В5 В10 | 1100 1400 |
| 31 | 8 | То же | То же | То же | Ив смеси зольного гравия и вспученного перлита | В3,5 | 900 |
| 32 | 8 |  |  |  | Вспученный перлит | В3,5 В5 | 900 1100 |
| 33 | 11 | Глиноземистый цемент | Не применяется | Не применяются | Вспученный вермикулит | В2,5 | 1100 |
| 34 | 11 | То же | То же | То же | Из смеси керамзита и вспучен­ного вермикулита | В3,5 | 1000 |
| 35 | 11 |  |  |  | Керамзитовая | В5 | 1000 |
| 36 | 11 |  |  |  | Из смеси зольного гравия и вспученного перлита | В5 | 1100 |
| 37 | 11 |  |  |  | Вспученный перлит | В5 | 1000 |

Примечание. Для бетонов классов 814 по предельно допустимой температуре применения с отвердителем из кремнефтористого натрия не допускается воздействие пара и воды без предварительного нагрева до 800 С; бетоны класса 6 по предельно допустимой температуре применения подвергать воздействию пара не следует.

среды и высокой температуры, должны устанавли­ваться в соответствии с требованиями СНиП II-28-73 в зависимости от степени агрессивности среды и условий эксплуатации.

В конструкциях и изделиях, предназначенных для работы в условиях воздействия высокой тем­пературы и агрессивной среды, должен применяться жаростойкий бетон, наиболее стойкий в данной агрессивной среде:

нейтральной и щелочной газовой — жаростойкий бетон на портландцементе и шлакопортландцементе;

кислой газовой и в расплавах щелочных метал­лов — жаростойкий бетон на жидком стекле;

е) для конструкций, работающих в условиях воздействия повышенных температур и поперемен­ного увлажнения, рекомендуется применять обыч­ный бетон класса по прочности на сжатие не менее В7,5 и марки по водонепроницаемости не менее W6 при нагреве до 120 С включительно и не менее W8 при нагреве свыше 120 С.

**2.5.** При неравномерном нагреве бетона по вы­соте сечения элементов конструкций, в которых напряжения сжатия в бетоне от собственного веса и нагрузки составляют до 0,1 МПа, а также элемен­тов конструкций, в которых усилия возникают только от воздействия температуры, предельно допустимая температура применения бетона устанав­ливается по ГОСТ 20910-82.

При воздействии температур, превышающих указанные в ГОСТ 20910—82, необходимо предус­матривать устройство защитных слоев (футеровок).

**РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА**

**2.6.** Расчетные сопротивления бетона *Rb* и *Rbt* для предельных состояний первой и второй групп в зависимости от его класса по прочности на сжатие принимают по СНиП 2.03.01-84 для составов (см. табл. 9):

№ 1 3, 6, 7, 10 15, 19 21 как для тяжелого бетона;

№ 4, 5, 8, 9, 16 18, 23, 24, 29 и 30 как для легкого бетона на пористом мелком заполнителе.

Расчетные сопротивления обычного бетона *Rbt* для предельных состояний первой группы в зависи­мости от класса бетона по прочности на осевое растяжение (состава № 1 по табл. 9) принимают по СНиП 2.03.01-84.

Расчетные сопротивления бетона в соответствую­щих случаях следует умножать на коэффициент условий работы по СНиП 2.03.01-84.

При расчете элементов конструкций, предназна­ченных для работы в условиях воздействия повы­шенных и высоких температур, расчетные сопротив­ления бетона *Rb* и *Rb,ser* необходимо дополни­тельно умножать на коэффициент условий работы бетона при сжатии γ*bt*, а расчетные сопротивления бетона *Rbt* и *Rbt,ser* — на коэффициент условий работы бетона при растяжении γ*tt.* Коэффициенты условий работы бетона при сжатии γ*bt* и растяже­нии γ*tt* принимают по табл. 10 в зависимости от температуры бетона и длительности ее действия.

Таблица 10

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номера составов бетона по | Коэффициент | Расчет на нагрев | Коэффициенты условий работы бетона при сжатии γ*bt* и растяжении γ*tt*,  коэффициент β*b* при температуре бетона, С | | | | | | | | | |
| табл. 9 |  |  | 50 | 70 | 100 | 200 | 300 | 500 | 700 | 900 | 1000 | 1100 |
|  | γ*bt* | Кратковременный  Длительный  Длительный с увлажнением | 1,00  1,00  1,00 | 0,85  0,85  0,65 | 0,90  0,90  0,40 | 0,80  0,80  0,60 | 0,65  0,50 |  |  |  |  |  |
| 1, 2 | γ*tt* | Кратковременный  Длительный  Длительный с увлажнением | 1,00  1,00  1,00 | 0,70  0,70  0,50 | 0,70  0,70  0,30 | 0,60  0,50  0,40 | 0,40  0,20 |  |  |  |  |  |
|  | β*b* | Кратковременный и длительный  Длительный с увлажнением | 1,00  1,00 | 0,90  0,50 | 0,80  0,20 | 0,60  0,40 | 0,40 |  |  |  |  |  |
|  | γ*bt* | Кратковременный  Длительный | 1,00  1,00 | 1,00  1,00 | 1,00  1,00 | 0,90  0,90 | 0,80  0,65 |  |  |  |  |  |
| 3 | γ*tt* | Кратковременный  Длительный | 1,00  1,00 | 0,80  0,80 | 0,75  0,75 | 0,65  0,60 | 0,50  0,35 |  |  |  |  |  |
|  | β*b* | Кратковременный и длительный | 1,00 | 1,00 | 0,90 | 0,80 | 0,60 |  |  |  |  |  |
| 411, 23, 24 | γ*bt* | Кратковременный  Длительный | 1,00  1,00 | 1,00  1,00 | 1,00  1,00 | 1,10  1,00 | 1,00  0,70 | 0,90  0,40 | 0,60  0,20 | 0,30  0,06 | 0,20  0,01 | 0,10 |
|  | γ*tt* | Кратковременный  Длительный | 1,00  1,00 | 0,85  0,85 | 0,80  0,80 | 0,65  0,65 | 0,60  0,40 | 0,50  0,20 | 0,40  0,06 | 0,20 |  | — |
|  | β*b* | Кратковременный и длительный | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,90 | 0,75 | 0,50 | 0,32 | 0,22 | 0,18 | 0,15 |
|  | γ*bt* | Кратковременный  Длительный | 1,00  1,00 | 1,00  0,80 | 1,10  0,80 | 1,20  0,55 | 1,20  0,35 | 1,00  0,15 | 0,75  0,05 | 0,40  0,01 | 0,20 |  |
| 1215, 17, 29, 30 | γ*tt* | Кратковременный  Длительный | 1,00  1,00 | 0,95  0,70 | 0,95  0,70 | 0,80  0,45 | 0,70  0,25 | 0,55  0,06 | 0,45 | 0,15 |  |  |
|  | β*b* | Кратковременный и длительный | 1,00 | 1,10 | 1,10 | 1,10 | 1,00 | 0,70 | 0,30 | 0,10 | 0,05 |  |
|  | γ*bt* | Кратковременный  Длительный | 1,00  1,00 | 1,00  0,90 | 1,00  0,90 | 1,00  0,80 | 1,00  0,50 | 0,95  0,25 | 0,85  0,07 | 0,65  0,02 | 0,50  0,01 | 0,35 |
| 16, 18 | γ*tt* | Кратковременный  Длительный | 1,00  1,00 | 0,95  0,80 | 0,95  0,80 | 0,80  0,70 | 0,70  0,40 | 0,55  0,12 | 0,45  0,02 | 0,35 |  |  |
|  | β*b* | Кратковременный и длительный | 1,00 | 1,10 | 1,10 | 1,10 | 1,10 | 1,00 | 0,70 | 0,35 | 0,27 | 0,20 |
|  | γ*bt* | Кратковременный  Длительный | 1,00  1,00 | 0,90  0,90 | 0,80  0,80 | 0,70  0,70 | 0,55  0,50 | 0,45  0,25 | 0,35  0,10 | 0,30  0,05 | 0,25  0,02 | 0,20 |
| 19, 20, 21 | γ*tt* | Кратковременный  Длительный | 1,00  1,00 | 0,65  0,65 | 0,55  0,55 | 0,50  0,50 | 0,45  0,30 | 0,35  0,12 | 0,25  0,02 | 0,10 |  |  |
|  | β*b* | Кратковременный и длительный | 1,00 | 0,90 | 0,85 | 0,70 | 0,55 | 0,40 | 0,33 | 0,30 | 0,27 | 0,20 |

Примечания: 1. При расчете на длительный нагрев несущих конструкций, срок службы которых не превышает 5 лет, коэффициент γ*bt* следует увеличить на 15 %, но он не должен превышать величины γ*bt* при расчете на кратковременный нагрев.

2. Для конструкций, которые во время эксплуатации подвергаются циклическому нагреву, коэффициенты γ*bt* и β*b* следует снизить на 15 % и коэффициент γ*tt* на 20 %.

3. Коэффициенты γ*bt*, γ*tt* и β*b* для промежуточных значений температур определяются интерполяцией.

**2.7.** Начальный модуль упругости бетона при сжатии и растяжении *Еb* принимают по табл. 11.

Коэффициент β*b*, учитывающий снижение модуля упругости обычного и жаростойкого бетонов при нагреве, следует принимать по табл. 10 в зависимости от температуры бетона.

**2.8.** Коэффициент упругости , характеризую­щий упруго-пластическое состояние сжатого бетона, при определении приведенного сечения бетона, а также при расчете сводов и куполов из жаростой­кого бетона принимают по табл. 12 в зависимости от температуры и длительности ев воздействия.

Коэффициент упругости *v*, характеризующий упруго-пластическое состояние бетона сжатой зоны при расчете деформаций и закладных деталей, — по табл. 13 в зависимости от температуры и дли­тельности ее воздействия.

Таблица 11

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номера составов  бетона по табл. 9 | Начальные модули упругости бетона при сжатии и растяжении принимают равными *Eb* ⋅ 103  при классе бетона по прочности на сжатие | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | В1 | В1,5 | В2 | В2,5 | В3,5 | В5 | В7,5 | В10 | В12,5 | В15 | В20 | В25 | В30 | В35 | В40 | В45 | В50 |
| 13, 6, 7, 13, 20, 21 естественного твердения |  |  |  | 8,5  86,5 | 9,5  96,9 | 13,0  133 | 16,0  163 | 19,0  194 | 21,0  214 | 23,0  235 | 27,0  275 | 30,0  306 | 32,5  331 | 34,5  352 | 36  367 | 37,5  382 | 39  398 |
| 13, 6, 7, 20, 21 подвергнутого тепло­вой обработке при атмосферном давлении |  |  |  | 8,0  82 | 8,5  86,7 | 11,5  117 | 14,5  148 | 16,0  163 | 19,0  194 | 20,5  209 | 24,0  245 | 27,0  275 | 29,0  296 | 31,0  316 | 32,5  332 | 34,0  347 | 35,0  357 |
| 31, 32\* | 3,7  38 | 4,0  40,8 | 4,3  44,0 | 4,5  45,9 | 5,0  51,0 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | - |
| 25, 27, 32, 34, 35, 37\*\* | 4,2  43,0 | 4,5  45,9 | 4,8  49,0 | 5,0  51,0 | 5,5  56,1 | 6,3  64,2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 22, 24, 26, 28, 30,  32, 33, 36\*\*\* | 4,3  44,0 | 4,6  47,0 | 4,9  49,7 | 5,5  56,1 | 6,1  62,3 | 6,9  70,7 | 7,9  81,1 | 8,7  88,7 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 24, 30\*\*\*\* |  |  | 5,8  59 | 6,5  66,3 | 7,2  73,4 | 8,2  83,8 | 9,4  95,4 | 10,3  100,5 |  |  |  |  |  |  |  |  | - |
| 23, 29 |  |  | 7,3  75 | 8,0  81,6 | 9,0  91,8 | 10,0  102 | 11,5  117 | 12,5  127 | 13,2  135 | 14,0  143 |  |  |  |  |  |  |  |
| 4, 8, 9 |  |  | 8,0  81,6 | 8,6  88 | 9,8  100 | 11,2  114 | 13,0  133 | 14,0  143 | 14,7  150 | 15,5  158 |  |  |  |  |  |  |  |
| 5, 1012, 1419 |  |  | 10,0  102 | 10,5  107 | 11,5  118 | 13,0  133 | 14,5  148 | 16,0  163 | 17,0  173 | 18,0  184 | 19,5  199 | 21,0  214 | 22,0  224 | 23,0  235 |  |  |  |

Примечание. Над чертой указаны значения в МПа, а под чертой — кгс/см2.

\* D900; \*\* D1000; \*\*\* D1100; \*\*\*\* D1200 1400.

Таблица 12

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номера составов бетона по табл. 9 | Расчет на нагрев | Коэффициент упругости  обычного и жаростойкого бетонов при температуре бетона, С | | | | | | | | |
|  |  | 50 | 70 | 100 | 200 | 300 | 600 | 700 | 900 | 1000 |
| 1 3 | Кратковременный  Длительный | 0,85  0,30 | 0,65  0,25 | 0,70  0,25 | 0,70  0,25 | 0,65  0,20 |  |  |  |  |
| 6, 10, 11, 24 | Длительный | 0,85  0,28 | 0,80  0,24 | 0,80  0,24 | 0,75  0,22 | 0,70  0,21 | 0,53  0,07 | 0,32  0,03 | 0,15  0,01 | 0,05 |
| 4, 5, 7, 8, 9, 23 | Кратковременный  Длительный | 0,80  0,26 | 0,70  0,22 | 0,80  0,22 | 0,70  0,21 | 0,65  0,20 | 0,50  0,06 |  |  |  |
| 12 18, 29, 30 | Кратковременный  Длительный | 0,70  0,24 | 0,70  0,20 | 0,70  0,20 | 0,65  0,20 | 0,50  0,06 | 0,35  0,02 | 0,30 | 0,10 |  |
| 19 21 | Кратковременный  Длительный | 0,85  0,35 | 0,80  0,30 | 0,75  0,27 | 0,60  0,25 | 0,55  0,23 | 0,45  0,03 | 0,35  0,02 | 0,20  0,01 | 0,15 |

Примечания: 1. Над чертой приведен коэффициент упругости  обычного и жаростойкого бетонов для кратковременного нагрева, под чертой для длительного нагрева.

2. В таблице даны значения  для кратковременного нагрева при подъеме температуры на 10 С/ч и более. При подъеме температуры менее чем на 10 С/ч значения  *=* *а* 0,075 (*а* *b*) (10 *v*), где *a* и *b* значения коэффициента  при кратковременном и длительном нагреве; *v* скорость подъема температуры, С/ч.

3. Коэффициент  для промежуточных значений температур определяется по интерполяции.

4. При длительном нагреве 50 200 С и средней относительной влажности воздуха до 40 % значение коэффициента = 0,2.

5. При длительном нагреве и увлажнении бетона составов № 1 3 значения коэффициента  умножают на 0,5.

6. При двухосном напряженном состоянии значение коэффициента  умножается на 1,2, но оно не должно превышать 0,85.

7. При наличии в элементе сжатой арматуры с μ’ ≥ 0,7 % значение коэффициента  умножается на (1 0,11 μ’), но принимается не менее 0,5.

Таблица13

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номера составов бетона по табл. 9 | Расчет на нагрев | Коэффициент *v* при температура бетона, С | | | | | | | |
|  |  | 50 | 70 | 100 | 200 | 300 | 500 | 700 | 900 |
| 1 3 | Кратковременный  Длительный | 0,45  0,15 | 0,40  0,15 | 0,45  0,15 | 0,45  0,15 | 0,35  0,10 |  |  |  |
| 4 11, 23, 24 | Кратковременный  Длительный | 0,45  0,15 | 0,43  0,15 | 0,43  0,15 | 0,40  0,10 | 0,37  0,09 | 0,28  0,07 | 0,20  0,05 | 0,10  0,04 |
| 12 18, 29, 30 | Кратковременный  Длительный | 0,45  0,13 | 0,43  0,13 | 0,38  0,13 | 0,35  0,10 | 0,28  0,03 | 0,20  0,02 | 0,17 | 0,07 |
| 19 21 | Кратковременный  Длительный | 0,45  0,15 | 0,43  0,15 | 0,40  0,13 | 0,33  0,13 | 0,30  0,10 | 0,25  0,03 | 0,20  0,03 | 0,15  0,02 |

Примечания: 1. Над чертой приведен коэффициент *v* для кратковременного нагрева, под чертой для длительного нагрева.

2. В таблице даны значения *v* для кратковременного нагрева при подъеме температуры на 10 С/ч и более. При подъеме температуры менее чем на 10 С/ч значение *v* = *a* 0,075 (*a* *b*) (10 *v*); где *a* и *b* значения коэффициента *v* при кратковременном и длительном нагреве; *v —* скорость подъема температуры, С/ч.

3. Коэффициент *v* для промежуточных значений температур определяется по интерполяции.

4. При длительном нагреве 50 200 С и средней относительной влажности воздуха до 40 % значение коэффициента *v =* 0,1.

5. При длительном нагреве и увлажнении бетона составов № 1 3 значения коэффициента *v* умножают на 0,5.

**2.9.** Коэффициент линейной температурной де­формации бетона α*bt* в зависимости от темпера­туры и скорости подъема температуры следует принимать по табл. 14. Коэффициент α*bt* определен с учетом температурной усадки бетона при кратко­временном и длительном его нагреве. При необхо­димости определения температурного расширения бетона при повторном воздействии температуры после кратковременного или длительного нагрева к коэффициенту линейной температурной дефор­мации α*bt* следует прибавить абсолютное значение коэффициента температурной усадки бетона α*cs* соответственно для кратковременного или длитель­ного нагрева.

Коэффициент температурной усадки бетона α*cs* принимают по табл. 15.

Таблица 14

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номера составов  бетона по табл. 9 | Расчет не нагрев | Коэффициент линейной температурной деформации бетона α*bt* ⋅ 106 ⋅ град1 при температуре, С | | | | | | | |
|  |  | 50 | 100 | 200 | 300 | 500 | 700 | 900 | 1100 |
| 1 | Кратковременный  Длительный | 10,0  4,0 | 10,0  4,5 | 9,5  7,2 | 9,0  7,5 |  |  |  |  |
| 2, 6 | Кратковременный  Длительный | 9,0  3,0 | 9,0  3,5 | 8,0  5,7 | 7,0  5,5 | 6,0 | 5,0 |  |  |
| 3, 7 | Кратковременный  Длительный | 8,5  2,5 | 8,5  3,0 | 7,5  5,2 | 7,0  5,5 | 5,5 | 4,5 | 4,0 | 3,0 |
| 8 | Кратковременный  Длительный | 9,0  2,0 | 9,0  3,0 | 8,0  5,4 | 7,0  5,3 | 6,0  5,0 | 6,0  5,0 |  |  |
| 4, 5, 9 11, 23, 24, 25 | Кратковременный  Длительный | 8,5  1,5 | 8,5  2,5 | 7,5  4,9 | 7,0  5,3 | 5,5  4,5 | 4,5  3,5 | 4,0  3,1 | 3,0  2,0 |
| 12 18, 27, 29, 30 | Кратковременный  Длительный | 5,0  4,0 | 5,0  0 | 5,5  3,0 | 6,0  4,3 | 7,0  6,0 | 6,5  5,8 | 6,0  5,4 | 5,0  4,5 |
| 19 21 | Кратковременный  Длительный | 8,0  3,0 | 8,0  4,5 | 7,0  5,3 | 6,5  5,2 | 5,5  4,7 | 4,5  3,6 | 4,0  3,1 | 3,5  2,6 |
| 22 | Кратковременный  Длительный | 4,0  3,0 | 4,0  0 | 3,5  1,5 | 3,0  1,5 | 2,0  1,0 | 1,0  0 |  |  |
| 26 | Кратковременный  Длительный | 4,3  0,7 | 4,3  0,3 | 3,8  1,8 | 3,3  2,0 | 3,2  2,2 | 2,4  1,4 | 1,6  0,6 | 0,8  0,7 |
| 28 | Кратковременный  Длительный | 5,0  4,0 | 5,0  0 | 5,5  3,1 | 5,0  3,3 | 7,0  6,0 | 6,8  6,1 | 6,6  5,9 |  |
| 31, 32 | Кратковременный  Длительный | 1,2  7,8 | 1,2  3,8 | 1,3  1,1 | 1,0  0,7 | 1,2  0,2 | 0,7  0 | 0,8  0,1 |  |
| 33 | Кратковременный  Длительный | 3,0  8,0 | 3,0  6,5 | 3,5  5,3 | 4,5  5,8 | 3,0  4,5 | 2,8  3,7 | 3,5  4,5 | 4,7  5,7 |
| 34, 35 | Кратковременный  Длительный | 5,5  0,5 | 5,5  2,5 | 4,5  1,5 | 3,3  2,0 | 3,2  2,6 | 2,4  1,5 | 1,6  0,6 | 0,8  0,2 |
| 36, 37 | Кратковременный  Длительный | 2,0  3,0 | 2,0  1,5 | 1,5  0,8 | 1,0  0,7 | 0,6  1,2 | 0,4  0,5 | 3,7  4,6 | 8,6  9,5 |

Примечания: 1. Над чертой приведен коэффициент линейной температурной деформации бетона α*bt* ⋅ 106 ⋅ град1 для кратковременного нагрева, под чертой для длительного нагрева.

2. Значение коэффициента α*bt* для кратковременного нагрева дано при подъеме температуры на 10 С/ч и более. Для кратко­временного нагрева при подъеме температуры менее чем на 10 С/ч от значения α*bt* следует отнять 0,075 (*a b*) (10 *v*), где *а* и *b* значения коэффициентов α*bt* при кратковременном и длительном нагреве; *v* скорость подъема температуры, С/ч.

3. Коэффициент α*bt* для промежуточных значений температуры определяется интерполяцией.

4. Для бетонов состава№ 1 с карбонатным щебнем (доломит, известняк) коэффициент α*bt* увеличивается на 1 ⋅ 106 ⋅ град1.

Таблица 15

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номера составов  бетона по табл. 9 | Расчет на нагрев | Коэффициент температурной усадки бетона α*cs* ⋅ 106 ⋅ град1 при температуре, С | | | | | | | |
|  |  | 50 | 100 | 200 | 300 | 500 | 700 | 900 | 1100 |
| 1 — 4 | Кратковременный  Длительный | 0,0  6,0 | 0,0  5,5 | 0,7  3,0 | 1,0  2,5 |  |  |  |  |
| 5 11, 23, 24, 26 | Кратковременный  Длительный | 0,0  7,0 | 0,5  6,5 | 0,9  3,5 | 1,1  2,8 | 1,5  2,5 | 1,4  2,4 | 2,3  3,2 | 3,2  4,2 |
| 12 18, 27, 29, 30 | Кратковременный  Длительный | 2,0  11,0 | 3,0  8,0 | 2,5  5,0 | 2,0  3,7 | 1,3  2,3 | 1,0  1,7 | 0,8  1,4 | 0,7  1,2 |
| 19 21 | Кратковременный  Длительный | 0,5  5,5 | 2,0  5,5 | 1,5  3,2 | 1,3  2,6 | 1,4  2,2 | 1,6  2,5 | 2,1  3,0 | 2,3  3,2 |
| 22 | Кратковременный  Длительный | 4,0  11,0 | 5,0  9,0 | 4,7  6,7 | 4,2  5,7 | 3,7  4,7 | 3,6  4,6 |  |  |
| 26 | Кратковременный  Длительный | 6,6  11,6 | 7,6  11,6 | 7,1  9,1 | 7,1  8,4 | 5,5  6,5 | 4,3  5,3 | 5,0  6,0 | 6,0  7,0 |
| 28 | Кратковременный  Длительный | 4,0  13,0 | 5,0  10,0 | 4,6  7,0 | 4,1  5,8 | 1,3  2,3 | 1,2  1,9 | 1,0  1,7 |  |
| 31, 32 | Кратковременный  Длительный | 3,0  12,0 | 4,0  9,0 | 3,6  6,0 | 3,1  4,8 | 0,3  1,3 | 0,2  0,9 | 0,0  0,7 |  |
| 33 | Кратковременный  Длительный | 10,5  15,5 | 12,0  15,5 | 11,5  13,3 | 11,3  12,6 | 10,7  12,2 | 9,9  10,8 | 10,4  11,4 | 10,7  11,7 |
| 34, 35 | Кратковременный  Длительный | 6,3  11,3 | 7,8  10,8 | 7,3  10,3 | 7,1  8,4 | 5,5  6,1 | 4,3  5,2 | 5,0  6,0 | 5,2  6,2 |
| 36, 37 | Кратковременный  Длительный | 1,7  6,7 | 3,2  6,7 | 3,0  5,3 | 4,8  5,1 | 5,0  6,8 | 5,1  6,0 | 9,3  10,2 | 14,3  15,2 |

Примечания: 1. Над чертой приведен коэффициент температурной усадки бетона α*cs* ⋅ 106 ⋅ град1 для кратковременного нагрева, под чертой для длительного нагрева.

2. Значение коэффициента α*cs* для кратковременного нагрева дано при подъеме температуры на 10 С/ч и более. Для кратковременного нагрева при подъеме температуры менее чем на 10 С/ч к значению α*cs* следует прибавить 0,075 (*b a*) (10 *v*), где *a* и *b* значения коэффициентов α*cs* для кратковременного и длительного нагрева; *v*  скорость подъема температуры, С.

3. Коэффициент α*cs* для промежуточных значений температур определяется интерполяцией.

4. Значения коэффициента α*cs* принимают со знаком минус.

Коэффициент температурной усадки бетона принят:

при кратковременном нагреве для подъема тем­пературы на 10 С/ч и более;

при длительном нагреве — в зависимости от воз­действия температуры во время эксплуатации.

**2.10.** Марку по средней плотности бетона естест­венной влажности принимают по табл. 9. Среднюю плотность бетона а сухом состоянии при его нагреве выше 100 °С уменьшают на 150 кгс/м3.

Среднюю плотность железобетона (при μ ≤ 3 %) принимают на 100 кгс/м3 больше средней плот­ности соответствующего состояния бетона.

**2.11.** При расчете железобетонных конструкций на выносливость, а также по образованию трещин при многократно повторяющейся нагрузке в усло­виях воздействия температур выше 50 °С расчет­ные сопротивления обычного бетона должны допол­нительно умножаться на коэффициент условий его работы γ*b*1*t*, принимаемый по табл. 16.

При применении жаростойкого бетона в железо­бетонных конструкциях, подвергающихся воздействию высоких температур и многократно повторяю­щейся нагрузки, расчетные сопротивления бетона должны быть специально обоснованы.

Таблица 16

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Температура  бетона, С | Коэффициент условий работы обычного бетона γ*b*1*t*  при многократно повторяющейся нагрузке | |
|  | без увлажнений | с переменным увлажнением и высыханием |
| 50 | 0,8 | 0,7 |
| 70 | 0,6 | 0,5 |
| 90 | 0,4 | 0,3 |
| 110 | 0,3 | 0,2 |

Примечание.Величины γ*b*1*t* для промежуточных значений температур определяются по интерполяции.

**АРМАТУРА**

**2.12.** Для армирования железобетонных конст­рукций, работающих при воздействии повышенной и высокой температур, арматура должна прини­маться по СНиП 2.03.01-84.

Для железобетонных конструкций из жаростой­кого бетона при нагреве арматуры выше 400 С рекомендуется предусматривать стержневую арма­туру и прокат из:

легированной стали марки 30ХМ по ГОСТ 4543-71;

коррозионно-стойких, жаростойких и жаропроч­ных сталей марок 12Х13, 20Х13, 08Х17Т, 12Х18Н9Т, 20Х23Н18 и 45Х14Н14В2М по ГОСТ 5632-72 и ГОСТ 5949-75.

Предельно допустимую температуру применения арматуры и проката в железобетонных конструк­циях следует принимать по табл. 17.

Таблица 17

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Вид и класс арматуры,  марки стали и проката | Предельно допустимая температура, С, приме­нения арматуры и проката, установленных в железобетонных конструкциях | |
|  | по расчету | по конструк­тивным соображениям |
| Стержневая арматура классов:  А-I и А-II | 400 | 450 |
| А-III, Ат-III, А-IIIв, А-IV, Ат-IV, А-V, Ат-V,  А-VI, Ат-VI | 450 | 500 |
| ненапрягаемая | 450 |  |
| напрягаемая | 250 |  |
| Проволочная арматура классов:  Вр-I | 400 | 450 |
| В-II, Вр-II, К-7, К-19 | 150 |  |
| В-I |  | 450 |
| Прокат из стали марок ВСт3кп2, ВСт3Гпс5, ВСт3сп5 и ВСт3пс6 | 400 | 450 |
| Стержневая арматура и прокат из стали марок:  30ХМ, 12Х13 и 20Х13 | 500 | 700 |
| 20Х23Н18 | 550 | 1000 |
| 12Х18Н9Т и 45Х14Н14В2М и 08Х17Т | 600 | 800 |

Примечания: 1. При циклическом нагреве предельно допустимая температура применения напрягаемой арма­туры должна приниматься на 50 С ниже указанной в таблице.

2. При многократно повторяющейся нагрузке предельно допустимая температура применения напрягаемой арматуры не должна превышать100 С и ненапрягаемой — 200 °С.

3. При нагреве проволоки классов В-I и Вр-I выше 250 С расчетные сопротивления следует принимать как для арматуры класса А-I по СНиП 2.03.01-84.

**РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АРМАТУРЫ**

**2.13.** Расчетные сопротивления основных видов стержневой и проволочной арматуры для предель­ных состояний первой и второй групп в зависимости от вида и класса арматуры принимают по СНиП 2.03.01-84.

Расчетные сопротивления арматуры ю жаростой­кой стали для предельных состояний первой и второй групп принимают по табл. 18 и 19, которые определены путем деления соответствующих норма­тивных сопротивлении на коэффициент надежности по арматуре γ*s*, принимаемый для предельных состояний по группам:

первая .......... 1,3

вторая .......... 1,0

Расчетное сопротивление арматуры в соответст­вующих случаях следует умножать на коэффициент условий работы арматуры по СНиП 2.03.01-84.

При расчете элементов конструкций, предназна­ченных для работы в условиях воздействия повы­шенных и высоких температур, расчетные сопротив­ления арматуры необходимо дополнительно умно­жать на коэффициент условий работы арматуры γ*st*, принимаемый по табл. 20 в зависимости от величины температуры арматуры и длительности ее нагрева.

Таблица 18

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Арматура и прокат  из стали марки | Нормативные сопротивления растяжению *Rsn* и расчетные сопротивления растяжению для предель­ных состояний второй группы *Rs,ser*, МПа (кгс/см2) | Модуль упругости принимают  равным *Es* ⋅ 104 МПа (кгс/см2) |
| 30ХМ | 590 (6000) | 21 (210) |
| 12Х13 | 410 (4200) | 22 (220) |
| 20Х13 | 440 (4500) | 22 (220) |
| 20Х23Н18 | 195 (2000) | 20 (200) |
| 12Х18Н9Т и 08Х17Т | 195 (2000) | 20 (200) |
| 45Х14Н14В2М | 315 (3200) | 20 (200) |

Таблица 19

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Расчетные сопротивления арматуры для предельных состояний первой группы, МПа (кгс/см2) | | |
|  | растяжению | |  |
| Арматура и прокат из стали марки | продольной  *Rs* | поперечной  (хомутов и отогнутых стержней) *Rsw* | сжатию *Rsc* |
| 30ХМ | 450 (4600) |  | 400 (4000) |
| 12Х13 | 325 (3300) | 260 (2650) | 325 (3300) |
| 20Х13 | 345 (3500) | 275 (2800) | 345 (3500) |
| 20Х23Н18 | 150 (1550) | 120 (1250) | 150 (1550) |
| 12Х18Н9Т и 08Х17Т | 150 (1550) | 120 (1250) | 150 (1550) |
| 45Х14Н14В2М | 245 (2500) | 195 (2000) | 245 (2500) |

Таблица 20

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вид и класс арматуры, марки жаростойкой | Коэффициент | Расчет на нагрев | Коэффициенты условий работы арматуры γ*st*, линейного температурного расширения  арматуры α*st* иβ*s* при температуре ее нагрева, С | | | | | | | |
| арматуры и проката |  |  | 50 100 | 200 | 300 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 |
| А-I, А-II, ВСт3кп2, ВСт3Гпс5, ВСт3сп5, ВСт3пс6 |  | Кратковременный  Длительный | 1,00  1,00 | 0,95  0,85 | 0,90  0,65 | 0,85  0,35 | 0,75  0,15 | 0,60 | 0,45 | 0,30 |
| Вр-I | γ*st* | Кратковременный  Длительный | 1,00  1,00 | 0,90  0,80 | 0,85  0,60 | 0,60  0,30 | 0,45  0,10 | 0,25 | 0,12 | 0,05 |
| В-II, Вр-II, К-7, K-19 |  | Кратковременный  Длительный | 1,00  1,00 | 0,85  0,75 | 0,70  0,55 | 0,50  0,25 | 0,35  0,05 | 0,25 | 0,15 | 0,10 |
| А-I, А-II, Вр-I, В-II, Вр-II, К-7, К-19, ВСт3сп2, ВСт3Гпс5, ВСт3сп5, ВСт3пс6 | α*st* | Кратковременный  и длительный | 11,5 | 12,5 | 13,0 | 13,5 | 13,6 | 13,7 | 13,8 | 13,9 |
| А-III, А-IIIв, А-IV, А-v |  | Кратковременный  Длительный | 1,00  1,00 | 1,00  0,90 | 0,95  0,75 | 0,85  0,40 | 0,75  0,20 | 0,60 | 0,40 | 0,30 |
| Ат-III, Ат-IV, Ат-V | γ*st* | Кратковременный  Длительный | 1,00  1,00 | 1,00  0,85 | 0,90  0,70 | 0,80  0,35 | 0,65  0,15 | 0,45 | 0,30 | 0,20 |
| А-VI |  | Кратковременный  Длительный | 1,00  1,00 | 0,85  0,80 | 0,75  0,65 | 0,65  0,30 | 0,55  0,10 | 0,45 | 0,30 | 0,20 |
| Ат-VI |  | Кратковременный  Длительный | 1,00  1,00 | 0,95  0,85 | 0,85  0,70 | 0,75  0,35 | 0,50  0,10 | 0,35 | 0,22 | 0,10 |
| А-III, А-IIIв, А-IV, А-V,  А-VI, Ат-III, Ат-IV,  Ат-V, Ат-VI | α*st* | Кратковременный  и длительный | 12,0 | 13,0 | 13,5 | 14,0 | 14,2 | 14,4 | 14,6 | 14,8 |
| 30ХМ | γ*st* | Кратковременный  Длительный | 1,00  1,00 | 0,90  0,85 | 0,85  0,80 | 0,78  0,25 | 0,76  0,15 | 0,74  0,08 | 0,72 | 0,70 |
|  | α*st* | Кратковременный  и длительный | 9,5 | 10,2 | 10,7 | 11,2 | 11,5 | 11,8 | 12,1 | 12,4 |
| 12Х13, 20Х13 | γ*st* | Кратковременный  Длительный | 1,00  1,00 | 0,95  0,93 | 0,86  0,83 | 0,80  0,70 | 0,73  0,45 | 0,65  0,13 | 0,53 | 0,40 |
|  | α*st* | Кратковременный  и длительный | 12,0 | 12,6 | 13,3 | 14,0 | 14,3 | 14,7 | 15,0 | 15,3 |
| 20Х23Н18 | γ*st* | Кратковременный  Длительный | 1,00  1,00 | 0,97  0,97 | 0,95  0,93 | 0,92  0,77 | 0,88  0,50 | 0,85  0,30 | 0,81  0,18 | 0,75  0,08 |
|  | α*st* | Кратковременный  и длительный | 10,3 | 11,3 | 12,4 | 13,6 | 14,1 | 14,7 | 15,2 | 5,.7 |
| 12Х18Н9Т, | γ*st* | Кратковременный  Длительный | 1,00  1,00 | 0,72  0,72 | 0,65  0,65 | 0,62  0,60 | 0,58  0,58 | 0,60  0,55 | 0,57  0,50 | 0,56  0,40 |
| 08Х17Т | α*st* | Кратковременный  и длительный | 10,5 | 11,1 | 11,4 | 11,6 | 11,8 | 12,0 | 12,2 | 12,4 |
| 45Х14Н14В2М | γ*st* | Кратковременный  Длительный | 1,00  1,00 | 0,86  0,86 | 0,78  0,78 | 0,72  0,70 | 0,68  0,63 | 0,64  0,55 | 0,60  0,43 | 0,56  0,30 |
|  | α*st* | Кратковременный  и длительный | 10,5 | 11,1 | 11,4 | 11,6 | 11,8 | 12,0 | 12,2 | 12,4 |
| А-I, А-II, А-III, А-IV, А-V,  А-VI, Вр-I, Вр-II, В-II,  К-7, К-19, ВСт3кп2,  ВСт3Гпс5, ВСт3сп5,  ВСт3пс6, 30ХМ, 12Х13, 20Х13, 20Х23H18, 12Х18Н9Т, 08Х17Т, 45Х14Н14В2М | β*s* | Кратковременный  и длительный | 1,00 | 0,90 | 0,88 | 0,83 | 0,80 | 0,78 | 0,75 | 0,73 |
| Ат-III, Ат-IIIв,  Ат-IV, Ат-V | β*s* | Кратковременный  и длительный | 1,00 | 0,96 | 0,92 | 0,85 | 0,78 | 0,71 | 0,55 | 0,40 |

Примечания: 1. Коэффициент линейного температурного расширения арматуры равен числовому значению, умножен­ному на 106 град1.

2. При расчете на длительный нагрев несущих конструкций, срок службы которым не превышает 5 лет, коэффициент γ*st* следует увеличить на 20 %, приэтом его значение должно быть не более, чем при кратковременном нагреве.

3. Коэффициенты γ*st*, α*st* и β*s* для промежуточных значений температур определяются по интерполяции.

**2.14.** Модуль упругости арматуры *Es* для основ­ных видов стержневой и проволочной арматуры принимается по СНиП 2.03.01-84 и для арматуры и проката из жаростойкой стали — по табл. 18. Коэф­фициент β*s*, учитывающий снижение модуля упру­гости арматуры при нагреве, должен приниматься по табл. 20 в зависимости от температуры арматуры и проката.

**2.15.** Коэффициент линейного температурного расширения арматуры α*st* следует принимать по табл.20.

В железобетонных элементах, имеющих трещины в растянутой зоне сечения, коэффициент темпера­турного расширения арматуры в бетоне α*stm* опре­деляют по формуле

 (49)

где α*bt*, α*st —* коэффициенты, принимаемые по табл. 14 и 20 в зависимости от тем­пературы нагрева бетона на уровне арматуры и нагрева арматуры;

ϕ*α —* коэффициент, принимаемый по табл. 21 в зависимости от процента армирования сечения продольной растянутой арматурой/

Таблица 21

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Отношение момента *М*1при расчете по предельному состоянию второй группы к моменту *М* при расчете по предельному | Коэффициент ϕ*α* при проценте армирования сечения продольной арматурой | | | | |
| состоянию первой группы *М*1  *М* | 0,2 | 0,4 | 0,7 | 1,0 | 2,0 и более |
| 1,0 | 0,90 | 0,95 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 0,7 | 0,75 | 0,90 | 0,95 | 1,00 | 1,00 |
| 0,5 | 0,55 | 0,80 | 0,90 | 0,95 | 1,00 |
| 0,2 | 0,20 | 0,55 | 0,70 | 0,80 | 0,95 |

Примечание. Коэффициент ϕ*α* для промежуточных значений отношения  определяется по интерполяции.

**2.16.** При расчете на выносливость железобетон­ных конструкций, работающих в условиях воздей­ствия температур выше 50 С, следует дополни­тельно вводить коэффициент условий работы арма­туры γ*s*3*t*, принимаемый при температуре нагрева арматуры, °С:

до 100 ......... 1,00

150 ......... 0,80

200 ......... 0,65

Для промежуточных значений температур коэф­фициент γ*s*3*t* определяется по интерполяции.

**2.17.** При расчете кривизны железобетонных элементов на участках с трещинами в растянутой зоне бетона, работающих в условиях воздействия высоких температур, необходимо учитывать упруго-пластические свойства арматуры. Коэффициент упругости арматуры *vs*, характеризующий упруго-пластические свойства растянутой арматуры, следует принимать по табл. 22 в зависимости от температуры арматуры и длительности нагрева.

Таблица 22

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Температура  арматуры, С | Коэффициент *vs* при расчете на нагрев | |
|  | кратко­временный | длительный |
| 50 200 | 1,0 | 1,0 |
| 300 | 0,9 | 0,6 |
| 400 | 0,7 | 0,3 |

Примечание. Коэффициент *vs* для промежуточных значений температур принимается по интерполяции.

**3. РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ БЕТОННЫХ**

**И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**ПО ПРЕДЕЛЬНЫМ СОСТОЯНИЯМ**

**ПЕРВОЙ ГРУППЫ**

**РАСЧЕТ БЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ПРОЧНОСТИ**

**3.1.** Расчет по прочности элементов бетонных конструкций, подвергающихся воздействию повы­шенных и высоких температур, должен произво­диться для сечений, нормальных к их продольной оси, по СНиП 2.03.01-84 с учетом дополнительных требований настоящих норм и правил.

При расчете бетонных элементов на действие сжимающей силы следует учитывать деформации от неравномерного нагрева бетона по высоте сече­ния, определяемые по указаниям пп. 1.271.31 и 4.16, суммируя их с эксцентриситетом продольной силы. Если деформации от нагрева уменьшают эксцентриситет продольной сипы, то их не учитывают.

**Внецентренно сжатые элементы**

**3.2.** Растет внецентренно сжатых бетонных эле­ментов, подвергающихся равномерному и неравно­мерному нагреву по высоте сечения с температурой бетона наиболее нагретой грани до 400 °С, необхо­димо выполнять из условия формулы (12) СНиП 2.03.01-84, в котором расчетное сопротив­ление бетона *Rb* следует дополнительно умножать на коэффициент условий работы бетона γ*bt*, приве­денный в табл. 10, в зависимости от средней температуры бетона сжатой зоны сечения. Коэффициент α принимают равным 1.

Для элементов прямоугольного сечения площадь сечения сжатой зоны бетона *Ab* следует определять по формуле (13) СНиП 2.03.01-84.

При неравномерном нагреве по высоте сечения с температурой бетона наиболее нагретой грани более 400 °С расчет внецентренно сжатых элемен­тов следует производить с учетом различия проч­ности бетона по высоте сечения. Сечение по высоте разделяют на две части, нагретых до температуры менее и более 400 С.

Проверка прочности внецентренно сжатых бетон­ных элементов с учетом сопротивления бетона растянутой зоны должна производиться из условия формулы (14) СНиП 2.03.01-84, в котором расчет­ное сопротивление бетона *Rbt* следует дополни­тельно умножать на коэффициент условий работы бетона γ*tt*, принимаемый по табл. 10:

при нагреве со стороны сжатой зоны в зависи­мости от средней температуры бетона растянутой зоны;

при нагреве со стороны растянутой зоны — в зависимости от температуры бетона растянутой грани.

При проверке прочности сечений необходимо учитывать напряжения растяжения в бетоне σ*btt*,определяемые по формуле (32), вызванные нели­нейным распределением температур бетона по высоте сечения элемента.

Наибольшая температура бетона сжатой зоны сечения элементов не должна превышать предельно допустимую температуру применения бетона, ука­занную в ГОСТ 2091082.

Коэффициент η, входящий в формулы (13) и (14) СНиП 2.03.01-84, находят по формулам (19) и (20) тех же норм и правил, принимая момент инерции сечения *I* равным *Ired*, который опреде­ляют согласно требованиям п. 1.15.

В формуле (22) СНиП 2.03.01-84 расчетное сопротивление бетона *Rb* следует дополнительно умножать на коэффициент условий работы бетона γ*bt*, принимаемый по табл. 10, в зависимости от температуры бетона в центре тяжести сечения.

Коэффициент βв формуле (21) СНиП 2.03.01-84 следует определять в зависимости от температуры бетона в центре тяжести сечения по табл. 23.

Таблица 23

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номера составов бетона по табл. 9 | Коэффициент β при температуре бетона, С,  в центре тяжести сечения | | | | | | |
|  | 50 | 100 | 200 | 300 | 500 | 700 | 900 |
| 1 3 | 1,2 | 1,4 | 1,5 | 2,0 |  |  |  |
| 4 11, 23, 24 | 1,6 | 1,6 | 1,8 | 1,9 | 6,7 | 16,0 | — |
| 12 18, 29, 30 | 1,5 | 1,5 | 2,0 | 8,0 | 33,0 |  |  |
| 19 21 | 1,2 | 1,4 | 1,5 | 2,0 | 16,0 | 25,0 | 50,0 |

Примечания: 1. Коэффициент β для промежуточных значений температур определяется по интерполяции.

2. Если температура бетона в центре тяжести внецентренно сжатого сечения превышает наибольшую температуру, для которой даны числовые значения β, то допускается расчетное сечение принимать с неполной высотой, в центре тяжести которого температура бетона не превышает наи­большую величину, указанную в таблице.

**Изгибаемые элементы**

**3.3.** Изгибаемые бетонные элементы, подвергаю­щиеся воздействию температуры, допускается при­менять только в случае, если они лежат на грунте или специальной подготовке, и, в виде исключения. в других случаях при условии, что они рассчитыва­ются на нагрузку от собственноговеса и под ними исключается возможность нахождения людей и оборудования.

Расчет изгибаемых бетонных элементов должен производиться из условия (23) СНиП 2.03.01-84, в котором коэффициент α для бетона составов № 121,23, 29 (см. табл. 9) принимается равным 1; расчетное сопротивление бетона *Rbt* следует допол­нительно умножать на коэффициент условия работы бетона γ*tt*, принимаемый согласно указаниям п. 3.2.

При этом необходимо учитывать напряжения растяжения σ*btt* в бетоне по указаниям п. 3.2.

При неравномерном нагреве по высоте сечения с температурой бетона наиболее нагретой грани выше 400 С момент сопротивления сечения *Wpl* следует определять по формуле (16) СНиП 2.03.01-84, принимая площадь, статический момент и момент инерции приведенного сечения по указаниям п. 1.15.

**3.4.** Расчет элементов бетонных конструкций на местное сжатие (смятие) должны производить по СНиП 2.03.01-84 и дополнительным указаниям п. 3.16.

**РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

**ПО ПРОЧНОСТИ**

**Расчет по прочности сечений,**

**нормальных к продольной оси элемента**

**3.5.** Расчет по прочности сечений, нормальных к продольной оси элемента, при воздействии повы­шенных и высоких температур должны выполнять по СНиП 2.03.01-84 с учетом дополнительных требо­ваний пп. 3.63.9.

**3.6.** Расчетные сопротивления бетона *Rb* следует принимать с учетом коэффициента условий работы бетона γ*bt*, определяемого по табл. 10:

для элементов прямоугольного и кольцевого сечений, а также тавровых сечений с полкой в растянутой зоне — в зависимости от средней темпе­ратуры бетона сжатой зоны сечения;

для двутавровых и тавровых сечений с полкой в сжатой зоне — в зависимости от средней темпера­туры бетона отдельно сжатой зоны ребра и сжатых свесов полки.

Среднюю температуру бетона сжатой зоны прямо­угольных сечений при ξ < ξ*R* допускается принимать по температуре бетона, расположенного на расстоянии 0,2*h*0 от сжатой грани сечения. Если *x* = ξ*R* *h*0 или сечение полностью сжато (*x* = *h*), коэффициент условий работы бетона γ*bt* допуска­ется принимать в зависимости от температуры бетона, расположенного на расстоянии 0,5*х* от сжатой грани сечения.

При расчете на нагрузку наибольшая температура бетона сжатой зоны сечения элемента не должна превышать предельно допустимой температуры применения бетона, указанной в ГОСТ 20910-82. Полка, расположенная в растянутой зоне, в расчете не учитывается.

Расчетные сопротивления арматуры *Rs* и *Rsc* сле­дует принимать с учетом коэффициента условий работы арматуры γ*st*, определяемого по табл. 20 в зависимости от температуры соответствующей арматуры. При этом температура арматуры не должна превышать предельно допустимой темпера­туры применения арматуры, устанавливаемой по расчету (см. табл. 17).

**3.7.** При определении граничного значения отно­сительной высоты сжатой зоны бетона ξ*R* по фор­муле (25) СНиП 2.03.01-84 величину ω следует вычислять по формуле (26) тех же норм и правил, принимая коэффициент а равным для бетона соста­вов (см. табл. 9):

№ 1 3, 6, 7, 10 15, 19 и 21 0,85;

№ 4, 5, 8, 9, 16 18, 23 и 29 0,80.

В формуле (25) СНиП 2.03.01-84 для жаростой­кой арматуры, указанной в табл. 19, следует принимать σ*sc,u* = *Rs*. Для всех классов арматуры коэффициент условий ее работы γ*st* принимают по табл.20 в зависимости от температуры арматуры.

**3.8.** При определении условной критической силы *Ncr* по формуле (58) СНиП 2.03.01-84 следует учитывать указания пп. 3.2 и 4.4.

При расположении арматуры только у одной из граней сечения, вычисляя *Ncr* по формуле (58) СНиП 2.03.01-84, принимают*Is* = 0.

**3.9.** При расчете центрально растянутых железо­бетонных элементов, неравномерно нагретых по высоте сечения, правая часть условия (60) СНиП 2.03.01-84 заменяется суммой произведе­ний площади арматуры, расположенной по каждой из сторон сечения, на расчетное сопротивление арматуры *Rs* и коэффициент условий работы арма­туры γ*st*, принимаемый по табл. 20 в зависимости от температуры соответствующей арматуры.

**Расчет по прочности сечений,**

**наклонных к продольной оси элемента**

**3.10.** Расчет по прочности сечений, наклонных к продольной оси элемента, при воздействии повы­шенных и высоких температур должен произво­диться на действие поперечной силы и изгибающего момента по СНиП 2.03.01-84 с учетом дополнитель­ных требований пп. 3.113.15.

**Расчет сечений,**

**наклонных к продольной оси элемента,**

**на действие поперечной силы**

**3.11.** При расчете железобетонных элементов с поперечной арматурой на действие поперечной силы должно соблюдаться условие формулы (72) СНиП 2.03.01-84, обеспечивающее прочность по наклонной полоса между наклонными трещинами. В формулах (72) и (74) СНиП 2.03.01-84 расчетное сопротивление бетона *Rb* должно дополнительно умножаться на коэффициент условий работы бетона γ*bt*, принимаемый по табл. 10 в зависимости от температуры бетона в центре тяжести сечения. При вычислении коэффициента ϕ*w*1 по формуле (73) СНиП 2.03.01-84 коэффициент α вычисляют по формуле (57), в которой коэффициенты β*b* и β*s* принимают по табл. 10 и 20 в зависимости от максимальной температуры хомутов. В формуле (74) СНиП 2.03.01-84 коэффициент β для составов бетона (см. табл. 9) принимается:

№ 1 3, 6, 7, 10 15, 19 21 0,01

№ 4, 5, 8, 9, 16 18, 23 и 29 0,02

**3.12.** Расчет железобетонных элементов с по перечной арматурой на действие поперечной силы должен производиться из условия формулы (76) СНиП 2.03.01-84, обеспечивающее прочность по наклонной трещине по наиболее опасному наклон­ному сечению.

**3.13.** При расчете на действие поперечной силы элементов с поперечной арматурой:

расчетное сопротивление арматуры *Rsw* дополни­тельно умножают на коэффициент условий работы арматуры γ*st*, принимаемый по табл. 20 в зависимости от наибольшей температуры попереч­ной арматуры в рассматриваемом сечении;

расчетное сопротивление бетона *Rbt* дополни­тельно умножают на коэффициент условий работы бетона γ*tt*, принимаемый по табл. 10 в зависимости от средней температуры бетона сжатой зоны. Сред­нюю температуру бетона сжатой зоны прямоуголь­ного сечения допускается определять по темпера­туре бетона, расположенного на расстоянии 0,2*h*0 от сжатой грани сечения.

Коэффициент ϕ*b*2 при средней температуре бетона сжатой зоны сечения следует устанавливать равным для бетона составов (см. табл. 9):

№ 1 3, 6, 7, 10 15, 19 21:

50 200 С ....................... 2,0

800 С и выше ................... 5,0

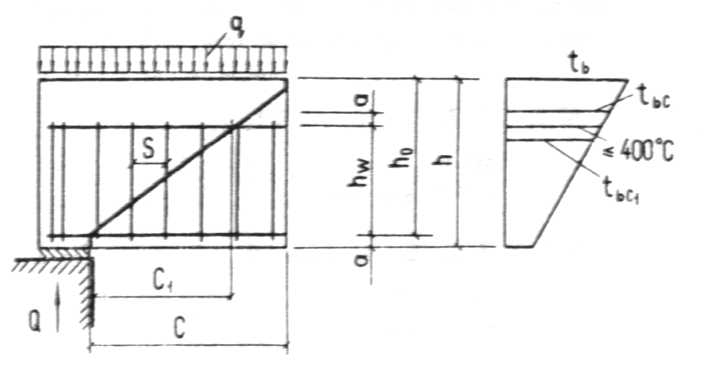
№ 4, 5, 8, 9, 16 18, 23 и 29:

50 200 С ...................... 1,5

800 С и выше .................. 4,5

Для температур между 200 и 800 С коэффи­циент ϕ*b*2, определяют интерполяцией.

При воздействии температуры, превышающей предельно допустимую температуру применения арматуры, установленной по расчету (см. табл. 17), допускается ставить поперечную арматуру, укоро­ченную по высоте сечения элемента. Минимально допустимая длина хомутов должна быть не менее 2/3*h*0 (черт. 4).



Черт. 4. Схема наклонного сечения железобетонного элемента с укороченными

по высоте сечения хомутами

*с* — проекция расчетного наклонного сечения элемента высотой *h*0; *с*1 — проекция расчетного наклонного сечения элемента с условно укороченной высотой *hu* = *hw* + *а*

Величина поперечной силы. воспринимаемая укороченными хомутами и бетоном в наклонном сечении, вычисляется по формуле

 (50)

 (51)

где *qsw* — находят по формуле (81) СНиП 2.03.01-84, в которой *Rsw* умно­жается на коэффициент γ*st*, принимае­мый по табл. 20 в зависимости от мак­симальной температуры хомутов.

Сечение элемента с укороченной поперечной арма­турой необходимо проверить по формуле (50) без второго члена правой части, в которой вместо *h*0принимается условная рабочая высота сечения изгибаемого элемента *hu*, равная длине хомутов и толщине защитного слоя бетона у менее нагретой грани *hu* = *hw* + *a* (см. черт. 4). При этой проверке расчетное сопротивление бетона *Rbt* следует допол­нительно умножать на коэффициент условий работы бетона γ*tt*, принимаемый по табл. 10 в зависимости от средней температуры бетона условно сжатой зоны сечения элемента укороченной высоты, а температура бетона сжатой зоны определяется из теплотехнического расчета элемента действительной высоты. За расчетную поперечную силу принимается наименьшая величина, полученная из расчета по формуле (50) для элемента с обычной и условной высотой.

**3.14.** При расчете на действие поперечной силы изгибаемых элементов без поперечной арматуры из условия формулы (84) и коротких консолей из условия (85) СНиП 2.03.01-84 расчетные сопротив­ления бетона *Rbt* и *Rb* следует дополнительно умно­жать на коэффициент условий работы бетона соот­ветственно γ*tt* и γ*bt*, определяемые по табл. 10 в зависимости от средней температуры бетона сжатой зоны сечения. Коэффициент ϕ*b*4 при средней темпе­ратуре бетона сжатой зоны сечения принимается равным для бетона составов (см. табл. 9):

№ 1, 3, 6, 7, 10 15, 19 21:

50 200 С ....................... 1,5

800 С и выше ................... 3,3

№ 4, 5, 8, 9, 16 18, 23 и 29:

50 200 С ...................... 1,0

800 С и выше .................. 2,2

Коэффициент ϕ*b*3 при средней температуре бетона сжатой зоны сечения устанавливают равным для бетонов составов (см. табл. 9):

№ 1, 3, 6, 7, 10 15, 19 21:

50 200 С ..................... 0,6

800 С и выше .................. 1,3

№ 4, 5, 8, 9, 16 18, 23 и 29:

50 200 С ..................... 0,4

800 С и выше .................. 0,9

Для температур между 200 и 800 °С коэффициенты ϕ*b*3 и ϕ*b*4 принимают интерполяцией.

**Расчет сечений,**

**наклонных к продольной оси элемента,**

**на действие изгибающего момента**

**3.15.** Расчет на действие изгибающего момента должен производиться из условий (88—90) СНиП 2.03.01-84, в которых расчетные сопротив­ления арматуры *Rs* и *Rsw* следует дополнительно умножать на коэффициент условий работы арма­туры γ*st*, принимаемый по табл. 20 в зависимости от наибольшей температуры продольной арматуры хомутов и отогнутых стержней.

**Расчет на местное действие нагрузок**

**3.16.** Расчет на местное сжатие (смятие) элементов без косвенного армирования должен произ­водиться из условия (101) СНиП 2.03.01-84. Коэффициент ψ при неравномерном распределении местной нагрузки под концами балок, прогонов, перемычек для бетона составов № 1 — 21, 23 и 29 (см. табл. 9) принимается равным 0,75. При опре­делении расчетного сопротивления бетона смятию *Rb,loc* по формуле (102) СНиП 2.03.01-84 расчет­ные сопротивления бетона *Rb* и *Rbt* следует дополнительно умножать соответственно на коэффи­циенты условий работы бетона γ*bt* и γ*tt*, принимае­мые по табл. 10 В зависимости от средней темпера­туры бетона площади смятия.

**3.17.** При расчете на продавливание по формулам (107) (109) СНиП 2.03.01-84:

расчетное сопротивление бетона *Rbt* следует дополнительно умножать на коэффициент условий работы бетона γ*tt*, принимаемый по табл. 10 в зависимости от средней температуры бетона на проверяемом участке;

расчетное сопротивление арматуры *Rsw* следует принимать по указаниям п. 3.13.

Коэффициент α должен приниматься для бетона составов (см. табл. 9):

№ 1 3, 6, 7, 10 15, 19 21 1,0

№ 4, 5, 8, 9, 16 18, 23 и 29 0,8

**3.18.** При расчете на отрыв растянутой зоны эле­мента из условия (110) СНиП 2.03.01-84 расчетное сопротивление арматуры *Rsw* следует дополни­тельно умножать на коэффициент условий работы арматуры γ*st*, принимаемый по табл. 20 в зависи­мости от наибольшей температуры дополнительной арматуры *Asw*.

**РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

**НА ВЫНОСЛИВОСТЬ**

**3.19.** Расчет железобетонных элементов на выносливость при воздействии температур свыше 50 С должен производиться по формулам (120) и (121) СНиП 2.03.01-84 с учетом дополнительных требова­ний:

расчетные сопротивления бетона *Rb* и арматуры *Rs* дополнительно умножаются на коэффициенты усло­вий работы бетона γ*b*1*t* и арматуры γ*s*3*t*, принимае­мые по указаниям пп. 2.11 и 2.16;

коэффициент приведения арматуры к бетону α’ умножают на отношение  . Коэффициент β*s* принимают по табл. 20 в зависимости от темпера­туры арматуры;

коэффициент β*b —* по табл. 10 в зависимости от средней температуры бетона сжатой зоны сечения.

**4. РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ**

**ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**ПО ПРЕДЕЛЬНЫМ СОСТОЯНИЯМ**

**ВТОРОЙ ГРУППЫ**

**РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

**ПО ОБРАЗОВАНИЮ ТРЕЩИН**

**Расчет по образованию трещин,**

**нормальных к продольной оси элемента**

**4.1.** Для изгибаемых, растянутых и внецентренно сжатых железобетонных элементов, подвергаю­щихся воздействию повышенной и высокой темпе­ратуры, усилия, воспринимаемые сечениями, нормальными к продольной оси, при образовании трещин следует определять по СНиП 2.03.01-84. При этом расчетное сопротивление бетона *Rbt,ser* следует дополнительно умножать на коэффициент условий работы бетона γ*tt*, а модуль упругости бетона *Еb —* на коэффициент β*b*. Коэффициенты γ*tt* иβ*b* принимаются по табл. 10 в зависимости от температуры бетона на уровне растянутой арма­туры.

**4.2.** Расчет железобетонных элементов по обра­зованию трещин на усилия, вызванные воздейст­вием температуры, следует проводить при нагреве:

когда температура бетона по высоте элемента между гранями сечения отличается более чем на 30 С в элементах статически неопределимых конструкций и более чем на 50 С в элементах статически определимых конструкций при криво­линейном распределении температуры;

когда температура растянутой арматуры превы­шает 100 °С в конструкциях из обычного бетона и 70 °С в конструкциях из жаростойкого бетона;

при остывании после нагрева, когда температура арматуры превышала 70 °С в элементах статически неопределимых конструкций.

Расчет образования трещин в элементах кон­струкций производится из условия, что растя­гивающие напряжения бетона, вызванные рас­пределением температуры, определяемые по фор­муле (32), равны или меньше величины расчет­ного сопротивления бетона *Rbt,ser*, умноженного дополнительно на коэффициент условий рабо­ты бетона γ*tt*, принимаемый по табл. 10 в зависимости от температуры волокна бетона, для которого определяются напряжения.

**4.3.** Расчет железобетонных элементов, подвергающихся совместному воздействию нагрузки и температуры, по образованию трещин должен производиться по СНиП 2.03.01-84 с учетом следующих указаний настоящего пункта.

В формулах (123) и (125) СНиП 2.03.01-84 вместо *Rbt,ser* вводится выражение (*Rbt,ser* γ*tt*  σ*btt*), а коэффициент о определяется по формуле (57). Коэффициенты условий работы γ*tt*, β*b* и β*s* принимают по табл. 10 и 20 в зависимости от темпе­ратуры бетона на уровне растянутой арматуры.

Напряжения в бетоне при нагреве от нелиней­ного распределения температуры и при остывании определяют по формулам (32) и (34).

При расчете элементов статически неопределимых конструкций по формуле (124) СНиП 2.03.01-84 вместо *Мr* вводится выражение *Мr Мt*. Значение момента *Мt* вызванного воздействием темпера­туры, определяют по указаниям п. 1.32.

Допускается напряжения, вызванные воздейст­вием температуры, не учитывать, если их учет увеличивает трещиностойкость сечения.

Усилие предварительного обжатия *Р* следует определять с учетом основных и дополнительных потерь предварительного напряжения в арматуре по указаниям п. 1.21.

Приведенная площадь сечения нагретого элемента *Аred* в формулах (132) и (134) СНиП 2.03.01-84 определяется по формуле (6).

**4.4.** Момент сопротивления приведенного сечения для крайнего растянутого волокна с учетом неупругих деформаций бетона при воздействии темпера­туры определяется по формуле

 (52)

где  (53)

 (54)

 (55)

 (56)

 (57)

здесь β*s* — определяют по табл. 20 в зависимости от температуры растянутой и сжатой арматуры;

β*b* — принимают по табл. 10 в зависимости от температуры бетона на уровне растянутой и сжатой арматуры.

При расчете элементов с повышенной толщиной защитного слоя растянутой арматуры (δ *=*  > 0,1) коэффициент μ1 в формуле (55) уменьша­ется на величину 1 — 2δ.

**4.5.** Расчет железобетонных элементов по образо­ванию трещин при воздействии температуры и многократно повторяющейся нагрузки следует производить по СНиП 2.03.01-84, при этом расчет­ное сопротивление бетона *Rb.ser* следует дополни­тельно умножать на коэффициент условий работы бетона γ*b*1*t*, принимаемый по табл. 16 в зависи­мости от температуры бетона на уровне растянутой арматуры. Максимальное нормальное растягиваю­щее напряжение в бетоне, вызванное нагрузкой, должно суммироваться с растягивающим напряже­нием от воздействия температуры, определяемым по формуле (32).

**Расчет по образованию трещин,**

**наклонных к продольной оси элемента**

**4.6.** При расчете по образованию трещин, наклон­ных к продольной оси элемента, в условиях воздей­ствия температуры производится по формулам (141) и (142) СНиП 2.03.01-84, при этом расчетные сопротивления бетона *Rb,ser* и *Rbt,ser* должны дополнительно умножаться на коэффициенты усло­вий работы бетона соответственно γ*bt* и γ*tt*, принимаемые по табл. 10:

для прямоугольных элементов в зависимости от температуры бетона в центре тяжести приведенного сечения;

для элементов двутаврового и таврового сечений в зависимости от температуры бетона в плоскости примыкания сжатых полок к стенке.

Коэффициент α следует принимать для бетоне составов (см. табл. 9):

№ 1 3, 6, 7, 10 15, 19 21 0,01

№ 4, 5, 8, 9, 16 18, 23 и 29 0,02

**4.7.** Расчет элементов по образованию трещин, наклонных к их продольной оси, на действие много­кратно повторяющейся нагрузки в условиях воздей­ствия температуры следует производить по СНиП 2.03.01-84 с учетом дополнительных указаний пп. 4.5 и 4.6.

**РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

**ПО РАСКРЫТИЮ ТРЕЩИН**

**Расчет по раскрытию трещин,**

**нормальных к продольной оси элемента**

**4.8.** Для железобетонных элементов из обыч­ного бетона при температуре арматуры до 100 С и из жаростойкого бетона при температуре арматуры до 70 °С ширина раскрытия трещин, нормальных к продольной оси элемента *acrc*, должна опреде­ляться по формуле (144) главы СНиП 2.03.01-84.

При более высоких температурах арматуры необходимо учитывать дополнительное раскрытие трещин, вызванное разностью деформаций бетона и арматуры от воздействия температуры. В этом случав в формулу (144) главы СНиП 2.03.01-84 вместо  вводится:

при нагреве

**

при остывании после нагрева



где α*stm* — определяют по формула (49);

α*bt*, α*cs —* принимают по табл. 14 и 15 в зависи­мости от температуры арматуры и дли­тельности нагрева;

β*s* и *vs* — определяют по табл. 20 и 22 в зависи­мости от температуры арматуры;

ϕ*l*  принимают по указаниям п. 4.9.

Величина σs не должна превышать величины *Rs,ser* для стержневой арматуры и 0,8*Rs,ser* для проволочной арматуры; при этом *Rs,ser* дополнительно умножают на коэффициент условий работы арматуры γ*st*, принимаемый по табл. 20 в зависи­мости от температуры арматуры. При внецентренном растяжении с *е*0 < 0,8*h*0 возможно появле­ние трещин на всю высоту сечения.

**Расчет по раскрытию трещин,**

**наклонных к продольной оси элемента**

**4.9.** Ширина раскрытия трещин, наклонных к про­дольной оси *acrc*, в изгибаемых элементах с поперечной арматурой при воздействии температуры должна определяться по формуле (152) главы СНиП 2.03.01-84, в которой модуль упругости бетона *Еb* и арматуры *Еs* следует умножать соот­ветственно на коэффициенты β*b* и β*s*, принимаемые по табл. 10 и 20 в зависимости от средней темпера­туры поперечной арматуры.

Коэффициент ϕ*l* принимается равным при наг­реве: кратковременном 1,0; длительном 1,5.

При температуре хомутов в середине высоты сечения болев 100 °С в элементах из обычного бетона и болев 70 °С из жаростойкого бетона необходимо учитывать дополнительное раскрытие наклонных трещин, вызванное разностью температурных де­формаций бетона и арматуры, равное



где α*bt* и α*st* *—* коэффициенты температурных деформаций бетона и арматуры при температуре хомута;

*tw* — в середине высоты сечения;

*s* **—** расстояние между хомутами.

**РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

**ПО ЗАКРЫТИЮ ТРЕЩИН**

**4.10.** Расчет железобетонных элементов по закры­тию трещин при воздействии температуры произ­водят по СНиП 2.03.01-84, при этом:

расчетное сопротивление арматуры *Rs,ser* следует дополнительно умножать на коэффициент условий работы арматуры γ*st*, принимаемый по табл. 20 в зависимости от температуры арматуры;

усилие предварительного обжатия *Р* должно при­ниматься с учетом основных и дополнительных потерь предварительного напряжения в арматуре по указаниям п. 1.21.

Напряжения растяжения в арматуре и сжатия в бетоне должны определяться от действия постоян­ных, длительных и кратковременных нагрузок и усилий от длительного и кратковременного нагрева.

**РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ**

**КОНСТРУКЦИЙ ПО ДЕФОРМАЦИЯМ**

**4.11.** Деформации (прогибы, углы поворота) элементов железобетонных конструкций, подвер­гающихся воздействию повышенных и высоких температур, должны вычислять по СНиП 2.03.01-84 с учетом дополнительных требований пп. 4.12 — 4.16.

**Определение кривизны железобетонных элементов**

**на участках без трещин в растянутой зоне**

**4.12.** Определение величины кривизны изгибае­мых, внецентренно сжатых и внецентренно растя­нутых элементов по формулам (155) — (159) СНиП 2.03.01-84 на участках, где не образуются трещины, нормальные к продольной оси элемента, следует производить с учетом следующих указаний.

При определении кривизны  и  по формуле (156) СНиП 2.03.01-84:

коэффициент ϕ*b*2, учитывающий влияние дли­тельной ползучести бетона, при расчете на длитель­ный нагрев принимают по табл. 24 в зависимости от вида бетона и средней температуры бетона сжа­той зоны сечения (см. п. 4.13);

коэффициент ϕ*b*1 принимают по указаниям п. 1.15;

момент инерции приведенного сечения *Ired* опре­деляют по указаниям п. 1.15, принимая в формуле (1) значения  для кратковременного нагрева в зависимости от скорости подъема температуры и для длительного нагрева как при кратковремен­ном нагреве с подъемом температуры на 10° С/ч и более.

В формуле (159) СНиП 2.03.01-84 модуль упру­гости арматуры *Еs* следует умножать на коэффи­циент β*s*, принимаемый по табл. 20 в зависимости от температуры арматуры.

Таблица 24

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номера составов бетона по  табл. 9 | Коэффициент ϕ*b*2, учитывающий влияние длительной ползучести бетона  на деформации элемента без трещин, при средней температуре бетона сжатой зоны сечения, С | | | | | | | | | |
|  | 50 | 70 | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 |
| 13 | 3,0 | 4,0 | 3,5 | 4,0 |  |  |  |  |  |  |
| 411, 23, 24 | 3,0 | 4,0 | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 5,0 | 7,0 | 8,0 | 10,0 |  |
| 1218,  29, 30 | 3,5 | 4,5 | 4,0 | 4,0 | 8,0 | 11,0 | 15,0 | 20,0 |  |  |
| 1921 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,5 | 7,0 | 10,0 | 13,0 | 16,0 | 20,0 |

Примечания: 1. В таблице даны значения коэффи­циента ϕ*b*2 для длительного нагрева.

2. Для кратковременного нагрева и непродолжитель­ного действия нагрузки коэффициент ϕ*b*2 = 1.

3. Значение коэффициента ϕ*b*2 для промежуточных температур принимают интерполяцией.

4. При наличии в элементе сжатой арматуры с μ’ ≥ 0,7 % значение коэффициента ϕ*b*2 умножается на (1 0,11 μ’), но принимается не менее 0,6.

5. При двухосном напряженном состоянии значение коэффициента ϕ*b*2 умножается на 0,8.

6. При попеременном увлажнении значения ϕ*b*2 сле­дует умножать на 1,2.

**Определение кривизны железобетонных элементов**

**на участках с трещинами в растянутой зоне**

**4.13.** На участках, где в растянутой зоне образу­ются нормальные к продольной оси элемента тре­щины, кривизны изгибаемых, внецентренно сжатых, а также внецентренно растянутых при *е*0 ≥ 0,8*h*0 элементов прямоугольного, таврового и двутавро­вого (коробчатого) сечений при воздействии температуры определяют по формуле (160) СНиП 2.03.01-84 с учетом следующих указаний:

модуль упругости бетона *Еb* следует умножать на коэффициент β*b*, принимаемый по табл. 10 в зави­симости от средней температуры бетона сжатой зоны;

расчетное сопротивление бетона *Rb,ser* должно дополнительно умножаться на коэффициент усло­вий работы бетона γ*bt*, принимаемый по табл. 10 в зависимости от средней температуры бетона сжатой зоны;

коэффициент *v* следует принимать по табл. 13 в зависимости от средней температуры бетона сжатой зоны сечения.

Среднюю температуру бетона сжатой зоны сече­ния допускается принимать:

для прямоугольных сечений по температуре бетона на расстоянии 0,2*h*0 от края сжатой грани сечения;

для тавровых и двутавровых сечений по средней температуре бетона сжатой полки.

Модуль упругости арматуры *Еs* следует умножать на коэффициент β*s* и коэффициент *vs*, принимаемые по табл. 20 и 22 в зависимости от температуры растянутой арматуры.

Расчетное сопротивление бетона *Rbt,ser* должны дополнительно умножать на коэффициент условии работы бетона γ*tt*, принимаемый по табл. 10 в зави­симости от температуры бетона на уровне растяну­той арматуры.

Коэффициент ψ*s* определяют по формуле (167) СНиП 2.03.01-84, принимая коэффициент ϕ*ls* по табл. 36 СНиП 2.03.01-84:

при расчете на кратковременный нагрев — как для непродолжительного действия нагрузки;

при расчете на длительный нагрев — как для продолжительного действия нагрузки.

*Wpl* вычисляют согласно указаниям п. 4.4.

Коэффициент ψ*b* принимается равным:

для жаростойких бетонов

классов выше В7,5 ............................ 0,9

для жаростойких бетонов

классов В7,5 и ниже ......................... 0,7

для конструкций из жаростойких

бетонов, рассчитываемых на

действие многократно

повторяющихся нагрузок при

воздействии температуры,

независимо от вида и класса бетона 1

В формулах (161) и (164) СНиП 2.03.01-84 коэффициент α следует определять по формуле (57), в которой коэффициент β*s* принимается по табл. 20 в зависимости от температуры растянутой арматуры, а коэффициент β*b* — по табл. 10 в зависи­мости от средней температуры бетона сжатой зоны, а в формуле (161) коэффициент β равен 1,8.

**Определение прогибов**

**4.14.** Полный прогиб элементов равен сумме про­гибов, обусловленных:

деформацией изгиба *fm*, который определяют по формуле (171) СНиП 2.03.01-84;

деформацией от воздействия температуры *ft*, который принимается по п. 4.16;

деформацией сдвига *fq*, который учитывается для изгибаемых элементов при  < 10 по указа­ниям п. 4.15.

Прогиб *ft* допускается не учитывать, если он приводит к уменьшению полного прогиба элемента.

**4.15.** Прогиб *fq*, обусловленный деформацией сдвига от нагрузки и воздействия температуры определяют по формуле (172) СНиП 2.03.01-84 с учетом следующих дополнительных требований.

Коэффициент ϕ*b*2 принимают по табл. 24.

При определении модуля сдвига *G* модуль упру­гости бетона *Еb*, принимаемый по табл. 11, умножается на коэффициент β*b*, определяемый по табл. 10 в зависимости от температуры бетона в центре тяжести сечения.

В формуле (174) СНиП2.03.01-84 момент инер­ции приведенного сечения *Ired* определяется по указаниям п. 1.15.

**4.16.** Прогиб *ft*, обусловленный деформациями от неравномерного нагрева бетона по высоте сечения элемента, определяют по формуле

 (58)

где

 — кривизна элемента в сечении *x* от воздействия температуры с учетом наличия в данном сечении трещин, вызванных усилиями от действия нагрузки или температуры, опре­деляется по указаниям пп. 1.27 — 1.31;

 — изгибающий момент в сечении *х* от действия единичной силы, прило­женной по направлению искомого перемещения элемента в сечении *х* по длине пролета, для которого находится прогиб.

Прогибы сборных элементов конструкций, имею­щих одностороннее армирование и сварные стыки арматуры в растянутой зоне сечения, определяют с учетом повышенной деформативности шва в стыке. При этом кривизна сборного элемента в пределах стыка, определенная как для целого элемента, увеличивается в 5 раз при заполнении шва раствором после сварки стыковых накладок и в 50 раз при заполнении шва до сварки, осуществляемой с учетом заданной последовательности сварки, указанной в п. 5.11.

При расчете свободно опертой или консольной балки постоянной высоты с одинаковым распреде­лением температуры бетона по высоте сечения на всей длине балки прогиб, вызванный воздействием температуры, определяют по формуле

 (59)

где  — кривизна от воздействия температуры определяется по указаниям пп. 1.27 1.31;

*s*2 — коэффициент, принимаемый рав­ным для свободно опертых балок — 1/8 и для консольных — 1/2.

**Определение жесткости элементов**

**4.17.** На участках, где не образуются нормальные к продольной оси элемента трещины, жесткость изгибаемых, внецентренно сжатых и внецентренно растянутых элементов определяется по формуле

 (60)

Величины *Ired*, ϕ*b*1 и ϕ*b*2 принимают по указаниям пп. 1.15 и 4.12.

**4.18.** На участках, где образуются нормальные к продольной оси элемента трещины в растянутой зоне, жесткость определяется по следующим фор­мулам :

для изгибаемых элементов

 (61)

для внецентренно сжатых и внецентренно растяну­тых элементов и приложении продольной силы в центре тяжести сечения элемента

 (62)

Перед *z* знак "—" при внецентренном сжатии, знак "+" при внецентренном растяжении

 (63)

при внецентренном растяжении и *e*0 < 0,8*h*0, принимают *e*0 = 0,8*h*0;

*М* и *N —* усилия, вызванные воздействием темпе­ратуры и нагрузки.

Все остальные величины, входящие в формулы (61) и (62), определяются по указаниям п. 4.13.

**5. КОНСТРУКТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ**

**5.1.** При проектировании бетонных и железо­бетонных конструкций, работающих в условиях воздействия повышенных и высоких температур. следует выполнять конструктивные требования СНиП 2.03.01-84, а также указания пп. 5.2 5.22.

**МИНИМАЛЬНЫЕ РАЗМЕРЫ**

**СЕЧЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ**

**5.2.** Минимальные размеры сечений ограждающих элементов конструкций устанавливаются тепло­техническим расчетом.

Толщина монолитных сводов, куполов, плит покрытий и перекрытий из тяжелого жаростойкого бетона должна приниматься не менее 60 мм, плит из легкого жаростойкого бетона — не менее 70 мм. Минимальная толщина сборных плит должна опре­деляться из условия обеспечения требуемой тол шины защитного споя бетона и условий расположе­ния арматуры по толщине плиты.

Размеры сечений внецентренно сжатых бетонных и железобетонных элементов при воздействии повышенных и высоких температур должны приниматься такими, чтобы их гибкость  не превышала предельной величины, указанной в табл. 25.

Таблица 25

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Элементы | Предельная гибкость  внецентренно сжатых элементов  при температуре бетона в центре тяжести сечения, С | | | | |
|  | 50 100 | 300 | 500 | 700 | 900 |
| Бетонные | 85 | 60 | 50 | 45 | 35 |
| Железобетонные | 125 | 90 | 55 |  |  |

Примечания: 1. Для железобетонных элементов с односторонним армированием предельные гибкости принимаются как для бетонных элементов.

2. Для промежуточных значений температур предельные гибкости определяются по интерполяции.

**ЗАЩИТНЫЙ СЛОЙ БЕТОНА**

**5.3.** Толщина защитного слоя бетона в конструкциях из обычного бетона должна приниматься:

при температуре арматуры до 100 С:

для продольной рабочей арматуры, ненапрягае­мой и напрягаемой при натяжении на упоры;

для поперечной, распределительной и конструктивной арматуры по СНиП 2.03.01-84;

при температуре арматуры до 100 С с попере­менным увлажнением бетона и выше 100 С увеличенной на 5 мм и быть не менее 1,5 диаметра арматуры.

В конструкциях из жаростойкого бетона тол­щину защитного слоя бетона для арматуры незави­симо от ее вида необходимо предусматривать более указанной в СНиП 2.03.01-84:

при температуре арматуры, С:

До 200 .......... на 5 мм

Св. 200 .......... на 10 мм

при этом минимальная толщина защитного слоя бетона должна быть при температуре арматуры, С:

До 100 ...................... 1,5*d*

Св. 100 до 300........... 2*d*

300 ...................... 2,5*d*

**5.4.** Толщина защитного слоя бетона у концов предварительно напряженных элементов из обыч­ного и жаростойкого бетонов на длине зоны пере­дачи напряжений при температуре арматуры до 100 °С должна составлять, не менее: для стержневой арматуры классов А-IV и А-IIIв, а также для арма­турных канатов 2*d*, для стержневой арматуры классов А-V и А-VI 3*d*, а при более высокой тем­пературе ее следует увеличивать на 0,5 диаметра анкеруемой арматуры.

**5.5.** В элементах из обычного и жаростойкого бетона с напрягаемой продольной арматурой, натягиваемой на бетон, при температуре арматуры до 100 С расстояние от поверхности элемента до поверхности канала или толщину защитного слоя бетона при расположении напрягаемой арматуры в пазах или снаружи сечения элемента следует принимать по СНиП 2.03.01-84, а при более высокой температуре арматуры — увеличивать на 10 мм.

5.6. В полых элементах кольцевого или коробча­того сечения при воздействии повышенной и высокой температуры расстояние от стержней продоль­ной арматуры до внутренней поверхности бетона должно удовлетворять требованиям п. 5.3.

**АНКЕРОВКА**

**НЕНАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРЫ**

**5.7.** При определении длины анкеровки арматуры *lan* по формуле (186) СНиП 2.03.01-84 при воздействии повышенной и высокой температуры *Rs* следует дополнительно умножать на коэффициент условий работы арматуры γ*st*, принимаемый по табл. 20 в зависимости от температуры арматуры; *Rb* следует дополнительно умножать на коэффициент условий работы бетона γ*bt,*, принимаемый по табл. 10 в зависимости от температуры бетона на уровне арматуры.

При попеременном увлажнении бетона и при температуре арматуры свыше 200 С величину *lan* следует увеличивать на 20%; к каждому растянутому продольному стержню необходимо предус­матривать приварку не менее двух поперечных стержней.

**ПРОДОЛЬНОЕ**

**АРМИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ**

**5.8.** Продольное армирование и минимальная площадь сечения продольной арматуры в железо­бетонных элементах из жаростойкого бетона должны приниматься по СНиП 2.03.01-84.

Диаметр продольной рабочей арматуры недолжен превышать при температуре арматуры, С:

До 100 включ. ......... 28 мм

Св. 100 до 200 .......... 25 "

" 200 " 300 .......... 20 "

" 300 " 400 ......... 16 "

" 400 ..................... 12 "

**ПОПЕРЕЧНОЕ**

**АРМИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ**

**5.9.** Поперечное армирование железобетонных элементов из жаростойкого бетона должно прини­маться по СНиП 2.03.01-84.

Диаметр отогнутых стержней в зависимости от температуры арматуры следует принимать по указа­ниям п. 5.8.

**СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ АРМАТУРЫ**

**И ЗАКЛАДНЫХ ДЕТАЛЕЙ**

**5.10.** Сварные соединения арматуры и закладных деталей, а также стыки ненапрягаемой арматуры внахлестку (без сварки) в конструкциях из жаростойкого бетона должны выполнять по СНиП 2.03.01-84. Длина перепуска (нахлестки) *l* арматуры в рабочем направлении должна быть не менее величины *lan*, определяемой с учетом требований п. 5.7. Диаметр стыкуемых стержней из арматуры периодического профиля не должен превышать 28 мм, а из гладкой арматуры — 20 мм. Стыки внахлестку без сварки не допускаются при циклическом нагреве и при постоянном нагреве растянутой арматуры выше 100 С.

**СТЫКИ ЭЛЕМЕНТОВ**

**СБОРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**5.11.** Стыки элементов сборных конструкций из жаростойкого бетона должны выполнять по СНиП 2.03.01-84. Сварные соединения арматуры необходимо предусматривать с учетом последовательности приварки стержней к накладкам. Сначала должны привариваться стержни с одной стороны стыка, а после остывания накладки — с другой.

Стыки между стеновыми панелями из жаростой­кого бетона следует предусматривать на растворе с установкой бетонного бруса размером 5х5 см (черт. 5, *а*). В стыках панелей, перекрывающих рабочее пространство теплового агрегата, бетон­ный брус должен устанавливаться на растворе с менее нагретой стороны ребер (черт. 5, *б*). Прост­ранство между ребрами стыкуемых подвесных панелей с консольными выступами плиты сле­дует заполнять теплоизоляционным материалом (черт. 5, *в*).

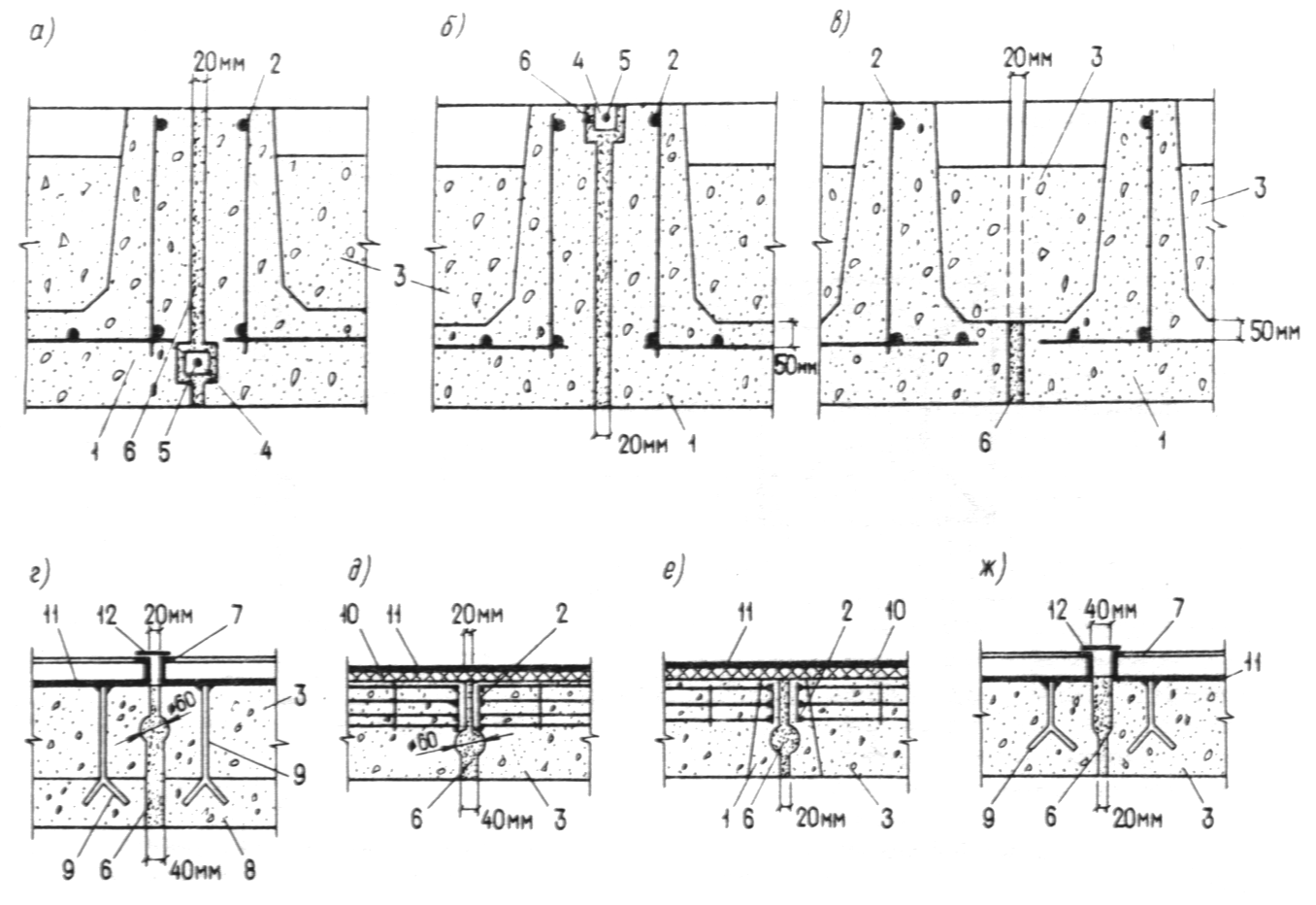
Стыки между панелями из легкого жаростой­кого бетона следует заполнять раствором проч­ностью на сжатие, меньшей прочности бетона футе­ровки. Марка раствора принимается не ниже М15. Продольные торцевые поверхности панелей должны иметь пазы или скосы, удерживающие раствор от вы падания (черт. 6, *г, д, е,* *ж*).

Толщина шва стыка между сборными элемен­тами тепловых агрегатов должна приниматься не менее 20 мм.

**5.12.** Соединение арматуры в сборных элементах из жаростойкого бетона допускается выполнять через окаймляющие уголки, стыковые накладки или путем стыкования арматуры внахлестку (черт. 6).

В стыках панелей, передающих усилия от арма­туры через косынку на стыковую накладку с эксцентриситетом, обязательно должны предусматри­ваться анкеры из арматуры периодического про­филя. Длина анкерных стержней, приваренных к пластине втавр или внахлестку, должна быть не менее *lan*, определяемой по указаниям п. 5.7.

Если необходимую расчетную длину анкеров трудно выдержать из-за температуры, превышаю­щей предельно допустимую температуру приме­нения арматуры, устанавливаемой по расчету (см. табл. 17), то допускается уменьшать длину анкеров с обязательной приваркой к их концам дополни. тельных пластин (черт. 7).

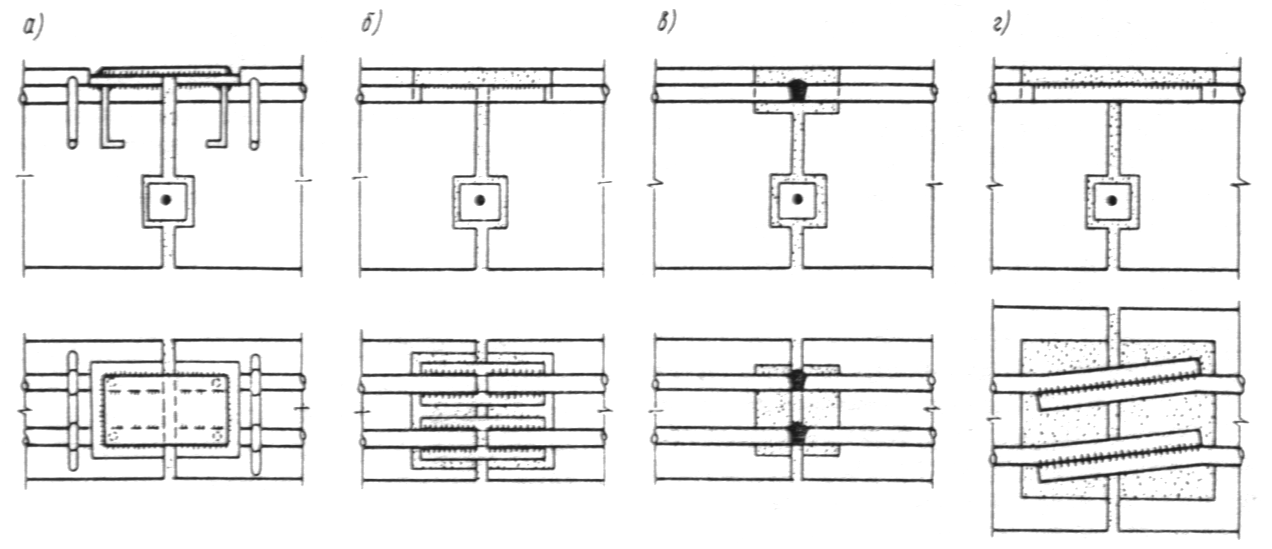


Черт. 5. Стыки элементов сборных конструкций из жаростойкого бетона

*а* стык ребристых панелей в стенах; *б* стык ребристых панелейв покрытиях;

*в* стык ребристых панелей с консольными выступами; *г*  стык двухслойных панелей; *д*  стык панелей с окаймляющим арматурным каркасом; *е*  стык панелей с окаймляющим каркасом из тяжелого жаростойкого бетона; *ж* стык панелей из легкого жаростойкого бетона; *1* тяжелый жаростойкий бетон; *2* арматурный каркас;

*3*  легкий жаростойкий бетой с D 1100 и менее; *4*  брусок сечением 5х5 см из тяжелого жаростойкого бетона; *5*  стержень диаметром 6 мм; *6*  жаростойкий раствор; *7*  уголок жесткости панели; *8* жаростойкий легкий бетон с D 1200 и более; *9* анкер; *10* теплоизоляционная прослойка толщиной 1020 мм; *11* метал­лический лист; *12*  стыковая накладка



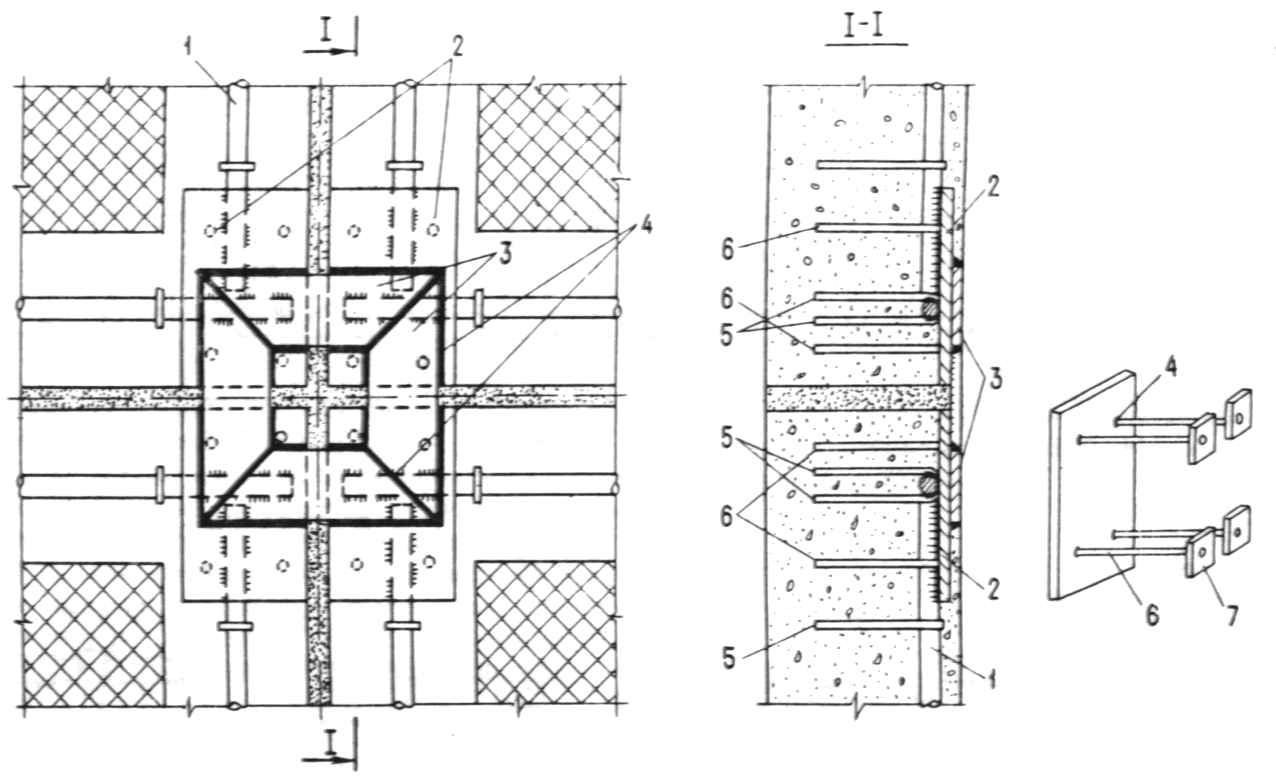
Черт. 6. Соединения арматуры в стыках элементов сборных конструкций

из жаростойкого бетона

*а* нахлесточное соединение с металлической накладкой из листовой стали;

*б* стыковое соединение по ГОСТ 19292-75; *в* стыковое соединение

по ГОСТ 14098-68; *г*  нахлесточное соединение



Черт. 7. Деталь стыка арматуры четырех панелей из жаростойкого железобетона

*1*  арматура; *2*  косынка; *3* стыковая накладка; *4*  сварка; *5* анкер арматуры;

*6* анкер косынки; *7*  анкерующая пластинка

**ОТДЕЛЬНЫЕ**

**КОНСТРУКТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ**

**5.13.** Ширина температурно-усадочного шва *b* в зависимости от расстояния между швами *l* должна определяться по формуле

 (64)

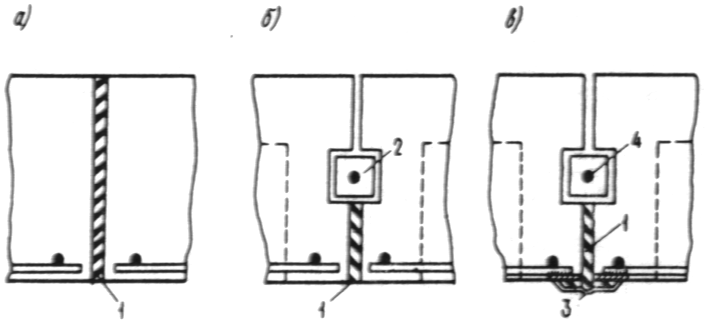
Относительное удлинение оси элемента ε*t* следует вычислять в зависимости от вида конструкции и характера нагрева по указаниям пп. 1.27—1.30.

Ширину температурно-усадочного шва, вычисленную по формуле (64), следует увеличивать на 30 %, если шов заполняется асбестовермикулитовым раствором, каолиновой ватой или шнуровым асбестом, смоченным в глиняном растворе (черт. 8, *а*).

Температурно-усадочные швы в бетонных и железобетонных конструкциях следует принимать шириной не менее 20 мм.

Когда давление в рабочем пространстве тепло­вого агрегата не равно атмосферному, температурно-усадочный шов должен иметь уширение для установки бетонного бруса (черт. 8, *б*). Брус должен устанавливаться насухо без раствора. Между брусом и менее нагретой поверхностью шов следует заполнять легко деформируемым теплоизоляционным материалом (черт. 8, *б*).

В печах, где требуется герметичность рабочего пространства, с наружной поверхности в температурно-усадочном шве должен предусматриваться компенсатор (черт. 8, *в*).



Черт. 8. Температурные швы в конструкциях из жаростой­кого бетона

*а* шов, заполненный шнуровым асбестом; *б*  то же, с бетонным бруском;*в* то же,

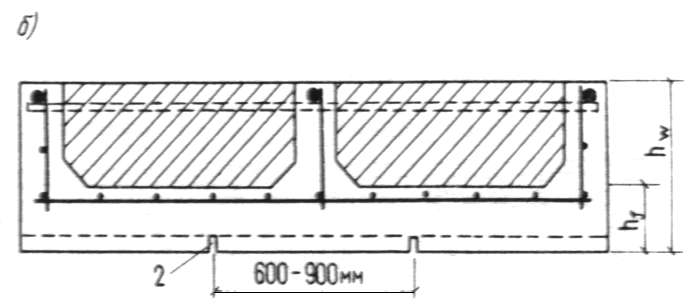
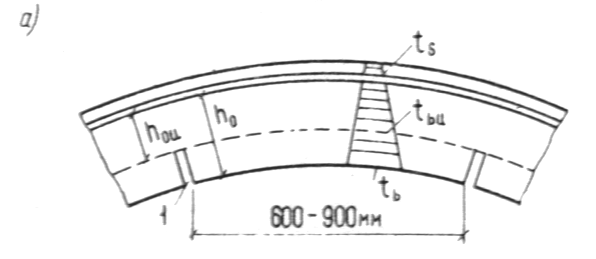
с металлическим компенсатором; *1 —* шнуровый асбест, смоченный в глиняном раст­воре; *2* бетонный брусок; *3* компенсатор; *4*  стальной стержень диаметром б мм

**5.14.** Для организованного развития усадочных трещин в бетоне со стороны рабочего простран­ства теплового агрегата должны предусматриваться усадочные швы. Швы шириной 2—3 мм и глубиной, равной 1/10 высоты сечения, но не менее 20 мм, следует располагать через 6090 см в двух взаимно перпендикулярных направлениях (черт. 9, *б*).

**5.15.** Усилия от неравномерного нагрева бетона по высоте сечения элемента допускается умень­шать:

устройством компенсационных швов в более нагретой сжатой зоне бетона (черт. 9, *а*). Компенсационные швы шириной 2—5 мм следует распо­лагать через 6090 см на глубину не более 0,5 высоты сечения элемента в направлении, перпен­дикулярном к действию сжимающих усилий от воздействия температуры;

повышением температуры растянутой арматуры, расположенной у менее нагретой грани бетона, посредством увеличения толщины защитного споя бетона или устройством наружное теплоизоляции.



Черт. 9. Швы со стороны нагреваемой поверхности в конст­рукциях

из жаростойкого бетона

*а* — компенсационные; *б*  усадочные; *1 —* компенсацион­ный шов шириной 2 — 5 мм;

*2 —* усадочный шов глубиной 0,1 *hf* и шириной 2 3 мм

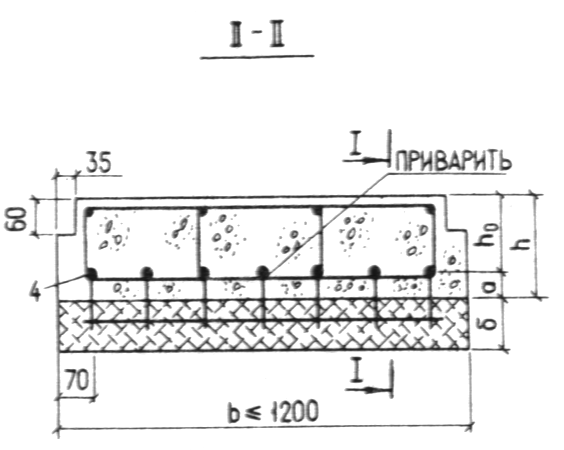
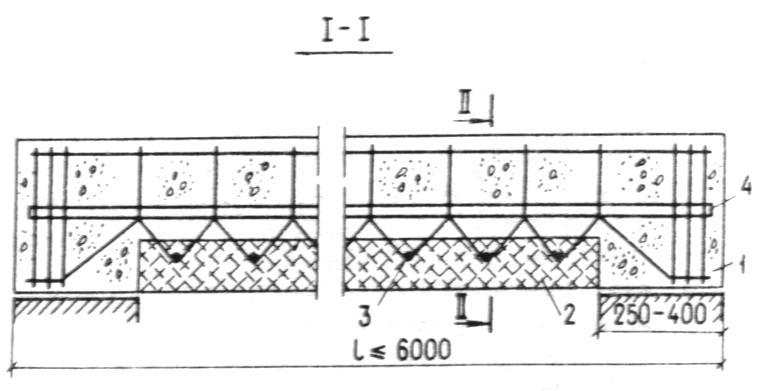
**5.16.** В железобетонных конструкциях из жаростойкого бетона для восприятия растягивающих усилий, как правило, следует устанавливать арма­туру у менее нагретой грани сечения элемента.

Если в конструкциях от нагрузки растягиваю­щие усилия возникают со стороны более нагретой грани сечения элемента, то арматура может воспри­нимать растягивающие усилия при температуре, не превышающей предельно допустимую темпера­туру применения арматуры, устанавливаемой по расчету (см. табл. 17).

Для снижения температуры арматуры допускается увеличивать толщину защитного слоя бетона у более нагретой грани сечения элемента до 6 диа­метров продольной арматуры или предусматривать теплоизоляцию из легкого жаростойкого бетона.

На границе бетонов разных видов следует устанавливать конструктивную арматуру из жаро­стойкой стали диаметром не более 4 мм, которая должна быть приварена к хомутам (черт. 10).

Температура нагрева конструктивной арматуры не должна превышать предельно допустимую температуру применения конструктивной арматуры, указанную в табл. 17.



Черт. 10. Конструкция нагибаемого железобетонного эле­мента. нагреваемого

до температуры более 400 С со сторо­ны растянутой зоны

*1* — тяжелый жаростойкий бетон; *2 —* теплоизоляционный слой из легкого жаростойкого бетона; *3 —* сетка из жаро­стойкой стали диаметром 4 мм; *4* продольная рабочая арматура

**5.17.** Несущие и ненесущие конструкции тепло­вых агрегатов следует выполнять из сборных однослойных или многослойных элементов. Сборные ограждающие конструкции, как правило, предус­матриваются из блоков, плит и панелей.

В двухслойных панелях, проектируемых из раз­ных видов жаростойкого бетона, теплоизоляционный легкий жаростойкий бетон мажет предусматриваться как со стороны рабочего пространства, так и с наружной стороны теплового агрегата.

Для улучшения совместной работы отдельных слоев бетона допускается предусматривать установку конструктивной арматуры или анкеров. Арматура должна заходить в каждый спой бетона на глубину не менее 50 мм. Если в зоне сопряже­ния отдельных слоев бетона температура превы­шает предельно допустимую температуру применения конструктивной арматуры, указанную в табл. 17, то для усиления связи между споями допускается устраивать выступы или бетонные шпонки.

В ребристых панелях плиту и ребра следует выполнять из тяжелого или легкого конструкционного жаростойкого бетона (см. черт. 9,*б*). В местах сопряжения ребер с плитой необходимо устраивать вуты. Между ребрами с менее нагретой стороны следует располагать тепловую изоляцию из легкого жаростойкого бетона или из тепло­изоляционных материалов. В ребрах панели следует предусматривать арматурные каркасы, которые должны быть заведены в бетон плиты не менее чем на 50 мм. При необходимости снижения темпе­ратуры рабочей арматуры, устанавливаемой в ребрах, ребра могут выступать за наружную поверхность тепловой изоляции. Плиту панели сле­дует армировать конструктивной сварной сеткой из арматуры диаметром не более 4 мм с расстоя­ниями между стержнями не менее 100 мм.

Температура нагрева сварной сетки не должна превышать предельно допустимую температуру применения конструктивной арматуры, указан­ную в табл. 17. Если температура нагрева плиты панели превышает предельно допустимую темпе­ратуру применения конструктивной арматуры, допускается плиту не армировать.

Для ненесущих облегченных ограждающих конструкций тепловых агрегатов следует предус­матривать легкие жаростойкие бетоны и эффектив­ные теплоизоляционные материалы.

В двухслойных панелях на металлическом листе легкий жаростойкий бетон следует крепить анке­рами, приваренными к листу (черт. 11, *а*). Анкеры должны приниматься из стержней диаметром б — 10 мм или полосы 3х20 мм. Длина анкера должна быть не менее половины толщины футеровки, а расстояния между ними — не более 250 мм. Метал­лический лист толщиной не менее 3 мм должен иметь отогнутые края или приваренные "на перо" по контуру уголки.

В панелях с окаймляющим каркасом прямо­угольного или трапециевидного сечения ребра должны предусматриваться из тяжелого или лег­кого конструкционного жаростойкого бетона, а пространство между ребрами на всю толщину следует заполнять теплоизоляционным легким жаростойким бетоном. Ребра следует армировать плоскими каркасами, расположенными с менее нагретой стороны (черт. 11, *б*).

В панелях с окаймляющим арматурным карка­сом сварной каркас следует располагать по пери­метру панели у менее нагретой стороны (черт. 11, *в*).

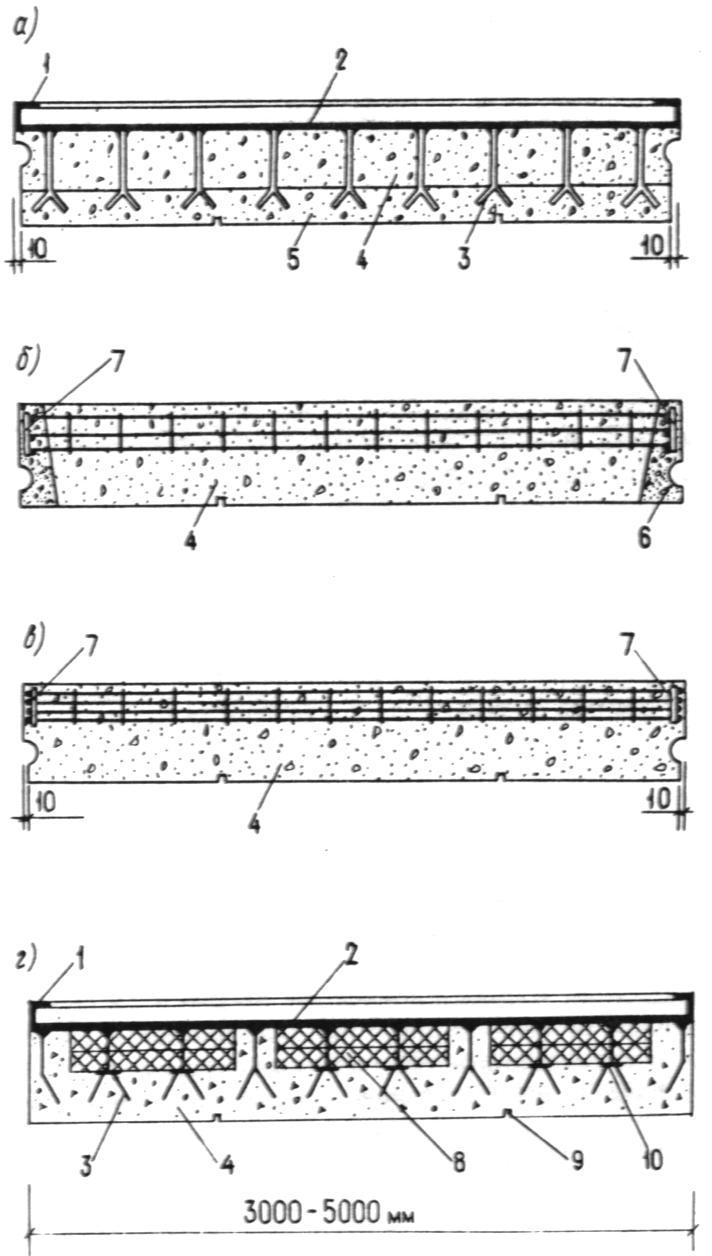
Крепление панелей к каркасу должно осуществ­ляться на болтах или на сварке так, чтобы панели могли свободно перемещаться при нагреве.

В конструкциях тепловых агрегатов из моно­литного железобетона со стороны рабочего прост­ранства в углах сопряжения стен, а также стен с покрытием и перекрытием следует предусматри­вать вуты.

При температуре рабочего пространства тепло­вых агрегатов свыше 800 С ограждающую кон­струкцию с целью увеличения ее термического сопротивления следует решать многослойной с включением в ее состав слоев из эффективной теплоизоляции (черт. 11, *г*).

Многослойная несущая или самонесущая кон­струкция со стороны рабочего пространства должна иметь футеровочную плиту из жаростойкого бетона, с ненагреваемой стороны — несущее основание в виде железобетонной плиты или металлического листа с окаймляющими уголками, а между ними слой теплоизоляции, причем волокнистые огнеупор­ные материалы следует применять в температурных зонах сечения конструкции, где нельзя применять более дешевые и менее дефицитные материалы, например, плиты или маты из минеральной ваты.

Для обеспечения надежного соединения несу­щего и футеровочного слоев многослойной футе­ровки рекомендуется применять пространственные анкеры в виде соединенных между собой крестообразно установленных гнутых стержней, распо­ложенных перпендикулярно к арматурной сетке (черт. 12).

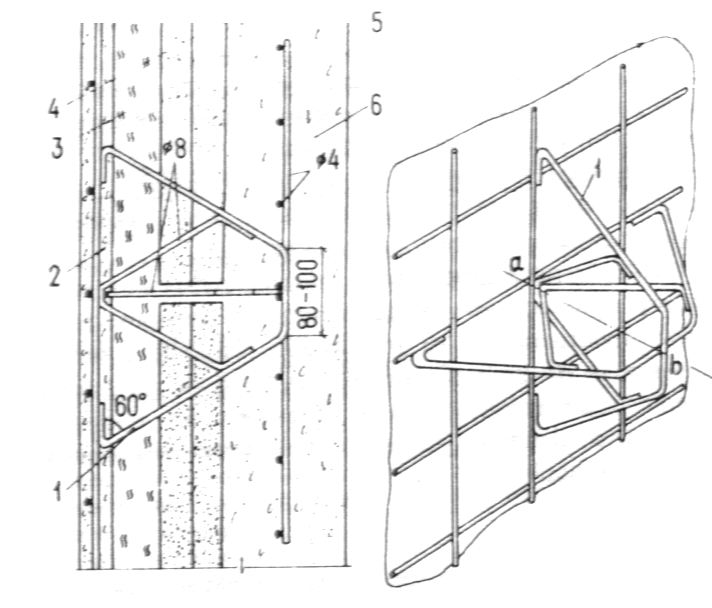


Черт. 11. Конструкция панелей иг легкого жаростойкого бетона

*а* двухслойная панель на металлическом листе; *б* панель с окаймляющим каркасом из тяжелого жаростой­кого бетона;*в* панель с окаймляющим арматурным каркасом;

*г* панель со стальными анкерами и эффектив­ной теплоизоляцией; *1*  уголок жесткости панели; *2* металлический лист; *3*  анкер;*4*  легкий жаростойкий бетон

с D 1100 и менее; *5* легкий жаростойкий бетой с D 1200 и более; *6* окаймляющий каркас из тяжелого жаростойкого бетоне; *7*  арматурный каркас; *8* эффективная теплоизоляция; *9*  усадочный шов; *10* шайба



Черт. 12. Пространственный анкерв многослойной кон­струкции панели

с железобетонной несущей плитой

*1 —* пространственный анкер;*2* — железобетонная несу­щая плита;*3 —* минераловатная изоляция; *4*  плитная изоляция;*5* арматурная сетка;*6 —* футеровочная плита

из жаростойкого бетона

Пространственные анкеры устанавливают в швах плитной и минераловатной изоляции.

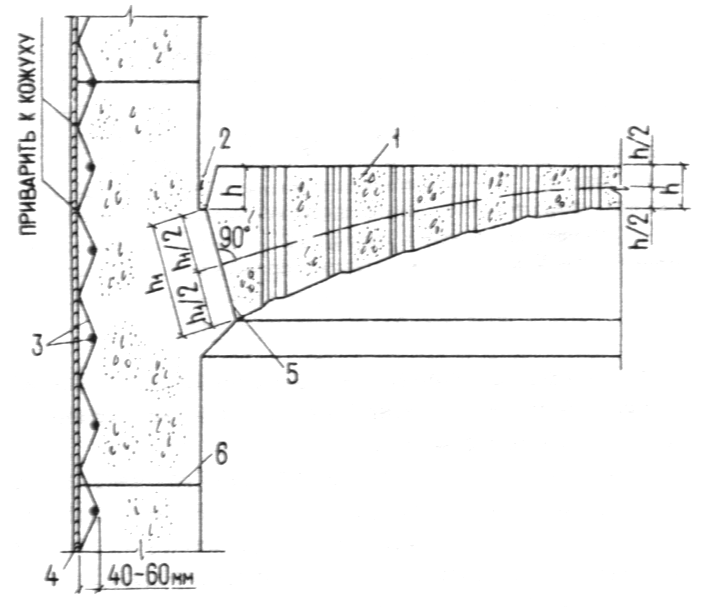
Расстояние между анкерами рекомендуется при­нимать в пределах 0,7 — 1 м, а расстояние от краев панели до центра пространственного анкера — кратным размеру плит теплоизоляции и равным половине расстояния между анкерами. Плита из жаростойкого бетона, закрепленная с помощью анкеров, от действия собственного веса в горизонтальном положении панели будет работать как двухконсольная система с максимальными значениями растягивающих усилий в сечениях под пространственными анкерами, где имеются местные арматурные сетки, включенные в пространственный анкер для увеличения площади анкеровки.

Футеровочная плита из жаростойкого бетона в укрупненных монтажных элементах разрезается швами шириной 2 мм на отдельные части таким образом, чтобы каждый отдельный монолитный участок бетонной футеровки крепился к основанию панели четырьмя или двумя анкерами.

**5.18.** Конструкции, перекрывающие рабочее пространство теплового агрегата, могут быть сво­бодно опертыми на стены, подвесными или моно­литно связанными со стенами. Для покрытий при пролетах более 4 м должны преимущественно предусматриваться подвесные балки, плиты и панели. Расчетную схему работы подвесной кон­струкции следует принимать как для двухкон­сольной балки, при этом не должно допускаться возникновения растягивающих напряжении в бетоне со стороны более нагретой поверхности. Подвесные конструкции не должны воспринимать никаких внешних нагрузок, кроме собственного веса, и на них не должны устраиваться мостики или настилы для хождения обслуживающего персонала.

Купола и своды должны иметь стрелу подъема не менее 1/12 пролета в свету.

Купола и своды с плоской верхней поверхностью у пяты должны иметь компенсационный шов шири­ной 20 40 мм на глубину, равную высоте сечения в замке (черт. 13). Следует предусматривать заполнение шва легко деформируемым материалом и покраску пят тонким слоем битумного лака. За осевую пинию в таких куполах и сводах допускается принимать дугу окружности, проведенную через центр пяты и середину высоты сечения в центре пролета.



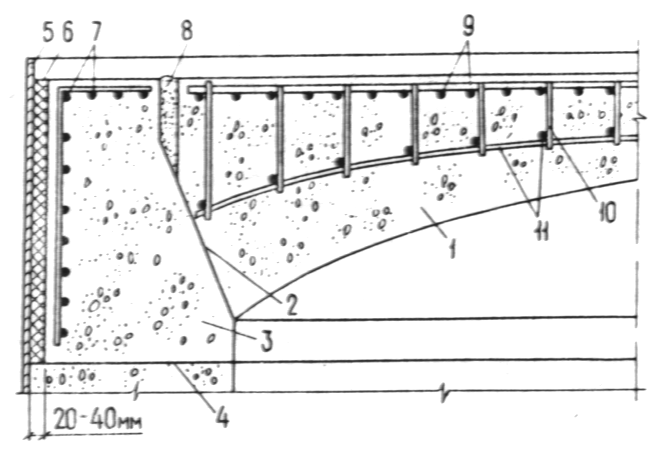
Черт. 13. Конструкция купола перекрытия с технологичес­кими отверстиями

из жаростойкого бетоне для крутого теплового агрегата

*1 —* бетонный купол; *2* — компенсационный шов толщиной 20 — 40 мм, заполненный легко деформируемым мате­риалом; *3* — сетка из проволоки диаметром до 6 мм, приваренная к кожуху; *4*  кожух; *5* пята купола; *6 —* шов бетонирования

В куполах и сводах с плоской верхней поверх­ностью при высоте сечения в замке более 250 мм кроме основной рабочей арматуры, установленной со стороны менее нагретой поверхности, необхо­димо предусматривать конструктивную сетку из проволоки диаметром не более 6 мм с ячейкой не менее 100х100 мм, которую следует располагать в бетоне с температурой, не превышающей пре­дельно допустимую температуру применения кон­структивной арматуры (см. табл. 17). Эта сетка должна соединяться хомутами с основной арматурой (черт. 14).

**5.19.** Рабочую арматуру в железобетонных кон­струкциях, перерезаемую различными технологи­ческими отверстиями, следует приваривать к рамкам из арматуры или проката, устанавливаемым вокруг отверстий. Размеры рамки должны приниматься такими, чтобы толщина бетона со стороны отверстия была достаточной для обеспечения тем­пературы рамки, не превышающей предельно допустимую температуру применения арматуры, устанавливаемой по расчету по табл. 17.



Черт. 14. Конструкция железобетонного купола покрытия с плоской верхней поверхностью из жаростойкого бетона для круглого теплового агрегата

*1* — купол; *2*  пята купола; *3* — опорное кольцо; *4*  шов бетонирования; *5* — кожух;

*6 —* теплоизоляционная прослойка толщиной 2040 мм; *7* рабочая арматура опор­ного кольца; *8 —* компенсационный шов шириной 20—40 мм, заполненный легко деформируемым материалом; *9* — рабочая арматура купола; *10 —* хомут их проволоки диаметром 6 мм; *II —* сетка из проволоки диаметром до 6 мм

Площадь сечения рамки в каждом направлении должна быть достаточной для восприятия усилий в перерезанных стержнях.

Отверстия большого размера следует окаймлять армированными бортовыми замкнутыми рамами. Сечение стенок бортовых рам определяют из расчета на усилия от воздействия температуры и нагрузки.

**5.20.** Фундаменты, борова и другие сооружения. расположенные под землей и подвергающиеся нагреву, должны находиться выше наиболее воз­можного уровня грунтовых вод. При наличии воды следует предусматривать гидроизоляцию.

**5.21.** Кожухи тепловых агрегатов из листовой стали допускается предусматривать, когда необходимо обеспечить газонепроницаемость конструк­ции и когда имеется большое количество отверстий или точек крепления оборудования.

Соединение кожуха с бетоном следует осу­ществлять арматурными сетками или анкерами, приваренными к кожуху (см. черт. 13).

**5.22.** Если жаростойкий бетон подвержен силь­ному истирающему воздействию со стороны рабо­чего пространства, то его следует защищать метал­лической панцирной сеткой, по которой наносится слой торкретбетона, или блоками из наиболее стойкого в этих условиях жаростойкого бетона или огнеупора.

**ТРЕБОВАНИЯ, УКАЗЫВАЕМЫЕ В ПРОЕКТАХ**

**5.23.** В рабочих чертежах конструкций или в пояснительной записке к проекту должны быть дополнительно указаны:

а) наибольшая температура нагрева конструкции при эксплуатации, принятая в расчете;

б) вид и класс бетона по предельно допустимой температуре применения;

в) класс бетона по прочности на сжатие и тре­буемая прочность бетона при температуре во время эксплуатации;

г) виды (классы) арматуры и марка жаростой­кой стали;

д) вид увлажнения бетона и его периодичность при эксплуатации;

е) прочность бетона при отпуске сборных эле­ментов предприятием-изготовителем;

ж) способы обетонирования стыков и узлов, марка и состав раствора для заполнения швов в стыках элементов.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

*Справочное*

**ОСНОВНЫЕ БУКВЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ**

**УСИЛИЯ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ**

**В ПОПЕРЕЧНОМ СЕЧЕНИИ ЭЛЕМЕНТА**

*Mt* — изгибающий момент;

*Nt —* продольная сила;

*Qt* — поперечная сила.

**ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕДВАРИТЕЛЬНО**

**НАПРЯЖЕННОГО ЭЛЕМЕНТА**

*P* — усилие предварительного обжатия, определяемое по СНиП 2.03.01-84 с учетом потерь предварительного напряжения в арматуре, соот­ветствующих рассматривае­мой стадии работы элемента;

σ*sp* и σ’*sp*  предварительные напряжения соответственно в напрягаемой арматуре *S* и *S’*, которые при­нимаются по СНиП 2.03.01-84 с учетом потерь предваритель­ного напряжения в арматуре, соответствующих рассматри­ваемой стадии работы эле­мента;

*e*0*p -* эксцентриситет усилия пред­варительного обжатия *P* относительно центра тяжести при­веденного сечения, определяе­мого по СНиП 2.03.01-84, при величинах σ*sp* и σ’*sp* с учетом первых и вторых основных потерь;

σ*bp —* сжимающие напряжения в бетоне на уровне центров тяжести продольной арматуры *S* и *S’* после проявления всех основных потерь, которое определяется по формуле (16).

**ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРИАЛОВ**

**ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ТЕМПЕРАТУРЫ**

*Rb,tem* и *Rbtt*  расчетные сопротивления бе­тона сжатию и растяжению для предельных состояний первой группы;

*Rb,tem,ser* и *Rbtt,ser*  расчетные сопротивления бетона сжатию и растяжению для предельных состояний второй группы;

*Rst* и *Rst,ser*  расчетные сопротивления арматуры растяжению для предельных состояний соот­ветственно первой и второй групп;

*Rswt* и *Rsct* расчетные сопротивления по­перечной арматуры растяжению при расчете сечений, на­клонных к продольной оси элемента на действие попереч­ной силы и арматуры сжатию для предельных состояний первой группы;

*Еbt —* модуль упругости бетона;

*Еst* модуль упругости арматуры;

σ*st*, σ*btt* и σ*b,tem* — напряжения в растянутой арматуре, в растянутом и сжатом бетоне, в сечении с трещиной от воздействия температуры;

σ*s*, σ*bt* и σ*b* — то же, от нагрузки;

σ*s,tot*, σ*bt,tot* и σ*b,tot* то же, от суммарного воздействия температуры и на­грузки;

α*tt*, α*cs* и α*bt* — коэффициенты линейного температурного расширения, температурной усадки и тем­пературной деформации бетона;

α*st —* коэффициент линейного тем­пературного расширения арматуры;

α*stm* — коэффициент температурного расширения растянутой арматуры в бетоне с учетом влия­ния работы бетона между трещинами, определяемый по формуле (49).

**ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

*b —* ширина прямоугольного сече­ния и ширина ребра таврового и двутаврового сечения;

*bf*, *b’f* *—* ширина полки таврового и двутаврового сечения соответственно в растянутой и сжатой зоне;

*h —* высота прямоугольного тавро­вого и двутаврового сечений;

*hf*, *h’f* — высота полки таврового и дву. таврового сечения соответственно в растянутой и сжатой зонах;

*a*, *а’ —* расстояния от равнодействующего усилия в арматуре соответственно *S* и *S’* до ближай­шей грани сечения;

*h*0 — рабочая высота сечения;

*hu —* рабочая высота сечения над швом;

*hf* высота полки таврового сечения;

*hw*  высота ребра таврового сече­ния;

 кривизна оси элемента от воздействия температуры при нагреве, при остывании от усадки бетона и при остыва­нии от усадки и ползучести бетона;

*у —* расстояние от центра тяжести приведенного сечения до растянутой грани в формулах (5), (14) и (15) и до менее нагретой грани в формулах (23) и (30);

*ys* и *y’s* — расстояние от центра тяжести приведенного сечения элемента до равнодействующей усилий в арматуре *S* и *S’*;

*I* — момент инерции сечения бе­тона относительно центра тя­жести сечения элемента, вычи­сляемый без учета темпера­туры как для ненагретого бетона (формула 1 );

*Ired* — момент инерции приведенного сечения элемента относительно его центра тяжести. определяемый по указаниям п. 1.15;

*ft*, ε*t* — прогиб и удлинение элемента от нагрева;

ε*cs* и ε*csc* — укорочение элемента от усадки и от усадки и ползучести бе­тона при остывании.

**ТЕМПЕРАТУРЫ**

*tb* — температура бетона;

*ts* и *t’s* — температура арматуры *S* и *S’*;

*ti —* температура среды со стороны источника тепла;

*te —* температура воздуха с наруж­ной стороны элемента;

*tbw* — температура бетона в центре тяжести приведенного сече­ния;

*tbc —* средняя температура бетона сжатой зоны;

*tbu*  температура бетона в сечении над швом.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

*Рекомендуемое*

**УКАЗАНИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ЖАРОСТОЙКОГО БЕТОНА**

**В ЭЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦИЙ**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименование теплового агрегата | Элементы из жаростойкого бетона | Температура рабо­чего пространства печи, С | Рекомендуемый состав бетона  по табл. 9, № |
| **I. В черной металлургии** | | | |
| Доменная печь | Фурменные приборы | 1300 | 16, 19 |
|  | Шахта, пень лещади | 1200 | 11 |
|  | Газоотводы и наклонный газопровод | 800 | 23, 24 |
|  | Пылеуловитель | 800 | 23, 24 |
| Вагранки для плавки чугуна | Стены колосника и плавильного пояса | 1300 | 19 |
| Воздухонагреватели доменной печи | Стены (нижняя часть), днище | 1200 | 11 |
|  | Борова | 800 | 23, 24 |
| Обжиговые машины агломерационного производства | Нижний коллектор и газоотводы | 800 | 23, 24 |
|  | Верхний коллектор | 800 | 23, 24 |
| Нагревательные колодцы | Стенды рабочих ячеек, под, крышка | 1300 | 19, 21 |
| Методические нагревательные печи | Изоляция глиссажных труб и стены на высоту 1 м | 1200 | 19 |
| Ямные печи для замедленного охлаждения | Стены | 800 | 23, 24 |
| Коксовые батареи | Фундаменты и борова | 600 | 23,24 |
| **II. В цветной металлургии** | | | |
| Графитировочные печи | Стены | 1200 | 11 |
| Печи кипящего слоя | Своды и решетка | 1100 | 11, 15 |
| Алюминиевые и магниевые электролизеры | Днища | 1000 | 10, 11 |
| Электролизеры сверхчистого алюминия |  | 1000 | 10, 11 |
| Термические, нагревательные, отжиговые печи | Стены, свод и под | 1200 | 11, 19 |
| Пылевые камеры | Стены и покрытие | 800 | 15 |
| Печи для плавления лома алюминия | Стены и свод | 1000 | 15 |
| Надземные и подземные газоходы | Днище, стены и свод | 1100 | 11, 15 |
| Фосфорные электропечи | Свод | 1100 | 15 |
| Ферросплавные печи | Днище и стены | 1000 | 10, 11 |
| Камерные печи | Свод, стены, под | 1200 | 19 |
| Электролитические ванны цветной ме­таллургии | Стены | 1000 | 10, 11 |
| **III. В нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности** | | | |
| Трубчатые печи | Стены камеры радиации | 1000 | 3337 |
|  | Своды камеры радиации | 1000 | 3337 |
|  | Стены камеры конвекции | 1000 | 23, 24, 25, 26 |
|  | Своды камеры конвекции | 1000 | 23, 24, 25, 26 |
| Вертикально-секционные печи | Стены камеры радиации | 900 | 3337 |
| Трубчатые печи беспламенного горения типа Б | Фундаменты, стены, свод, под, перевальные стенки | 800 | 10, 11 |
| Трубчатые печи беспламенного горения типа 3Р | Стены, свод, под | 8501100 | 2326, 3337 |
| Трубчатые печи настильные типа 3Д | То же | 9001100 | 2326, 3337 |
| Трубчатые печи настильные типа В | Стены, свод, под | 800 | 22 |
| Вертикально-факельные печи типа ГС | Стены камер конвекции и радиации, свод, подовая часть | 900 | 2326, 3337 |
| Объемно-настильные печи с разделитель ной стенкой типа ГН | То же | 9001100 | 2326, 3337 |
| Цилиндрические, факельные, типа ЦС | Стены камер конвекции и радиации, свод, подовая часть | 8001100 | 2337 |
| Цилиндрические печи типа ЦД настильные с дифференци-рованным подводом воздуха | То же | 8001100 | 2337 |
| Каталитического риформинга и гидроочистки типа Р многокамерные | Стены, свод, подовая часть | 1250 | 1921 |
| Надземные газоходы трубчатых печей | Все элементы | 600 | 2232 |
| Подземные газоходы трубчатых печей | То же | 800 | 10, 11 |
| **IV. В промышленности строительных материалов** | | | |
| Туннельные печи для обжига обыкновенного глиняного кирпича | Стены и своды зон подогрева и охлаждения | 800 | 10, 11 |
|  | Стены и свод зоны обжига | 1100 | 19 |
| Вращающиеся печи для обжига цемента | Зона цепной завесы и откатная головка | 1000 | 10, 11 |
| Кольцевые печи для обжига кирпича | Покрытие, стены, под | 1000 | 10, 11 |
| **V. В различных отраслях промышленности** | | | |
| Борова и газоходы для температур до 350 С | Стены, свод | 350 | 24 |
| Борова и газоходы для температур до 800 С | То же | 800 | 69 |
| Паровые котлы, экономайзеры, котлы-утилизаторы | Футеровка стен | 800 | 10, 11 |
| Фундаменты тепловых агрегатов | Элементы, нагревающиеся до температур выше 200 С, но не более 800 С | 800 | 69 |
| Полы горячих цехов |  |  | 7, 8 |
| Колпаковые печи для обжига металла |  | 800 | 10, 11 |
| Обжиговые печи электродной промышленности |  | 1400 | 20, 21 |
| Сушильные печи | Покрытие, станы, под | 1000 | 10, 11 |
| Котлы различного назначения | Футеровка экранированных стен | 800 | 2337 |
| Нагревательные, прокатные, кузнечные и конвейерные печи | Стены, под, глиссажные и опорные трубы | 1200 | 19, 21 |
| Печи для обжига сернистых материалов | Стены, свод, под | 1000 | 1518 |
| Печи для обжига санитарно-технического оборудования | Свод | 1100 | 19 |