Издание официальное

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СОВЕТА МИНИСТРОВ СССР
ПО ДЕЛАМ СТРОИТЕЛЬСТВА
(ГОССТРОЙ СССР)

ИНСТРУКЦИЯ

ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ РАБОТЫ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОВЫШЕННЫХ И ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР

СН 482-76

Утверждена
постановлением Государственного комитета
Совета Министров СССР
по делам строительства
от 1 марта 1976 г. № 14

МОСКВА—1977

gost.e-ecolog.ru

УДК 624.012.41(033.93)

«Инструкция по проектированию бетонных и железобетонных конструкций, предназначенных для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур» (СН 482-76) разработана НИИЖБ Госстроя СССР с участием институтов Теплопроект Минмонтажспецстроя СССР, Харьковский Промстройниипроект Госстроя СССР, КИСИ им. А. И. Микояна Минвуза РСФСР, ДИСИ Минвуза Украины, МИСИ Минвуза Украины и ЭКБ по железобетону Миннефтегазстроя СССР.

Настоящая Инструкция составлена в дополнение главы СНиП II-21-75 «Бетонные и железобетонные конструкции».

С введением в действие настоящей Инструкции с 1 января 1977 г. утрачивает силу глава СНиП II-В.7-67 «Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур. Нормы проектирования».

Редакторы — инж. *В. М. Скубко* (Госстрой СССР), д-р техн. наук *А. Ф. Милованов* (НИИЖБ Госстроя СССР)

И $\frac{30213-358}{047(01)-77}$ —Инструкт.-нормат., IV вып. — 4—76

© Стройиздат, 1977

Государственный комитет Совета Министров СССР по делам строительства (Госстрой СССР)

ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ РАБОТЫ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОВЫШЕННЫХ И ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР

СН 482-76

Редакция инструктивно-нормативной литературы
Зав. редакцией Г. А. Жигачева
Редактор В. В. Петрова
Мл. редактор Н. В. Лосева
Технический редактор Р. Т. Никишина
Корректоры О. В. Стигнеева, Н. П. Чугунова

Сдано в набор 28/IX 1976 г. Подписано к печати 4/II 1977 г. Формат 84×108$^{1}/_{32}$ д. л. Бумага типографская № 2. 5,04 усл. печ. л. (уч. изд. 5,41 л.) Тираж 40 000 экз. Изд. XII—6704. Зак. 1494. Цена 27 коп.

Стройиздат
103006, Москва, Каляевская, 23а

Московская типография № 32 Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, Москва, К-51, Цветной бульвар, д. 26.

Государственный комитет Совета Министров СССР по делам строительства (Госстрой СССР)	Строительные нормы	СН 482-76
	Инструкция по проектированию бетонных и железобетонных конструкций, предназначенных для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур	Взамен главы СНиП II-В.7-67

1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

1.1. Нормы настоящей Инструкции должны соблюдаться при проектировании бетонных и железобетонных конструкций, предназначенных для работы в условиях систематического воздействия повышенных (выше 50 до 200°С) и высоких (выше 200°С) технологических температур *.

Проектирование железобетонных дымовых труб, резервуаров и фундаментов доменных печей, работающих при воздействии температуры выше 50°С, должно производиться с учетом дополнительных требований, предъявляемых к этим сооружениям соответствующими нормативными документами.

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

---

* В дальнейшем в тексте настоящей Инструкции для краткости под термином «воздействие температуры» принято систематическое воздействие технологических температур.

Внесены НИИЖБ Госстроя СССР	Утверждены постановлением Государственного комитета Совета Министров СССР по делам строительства от 1 марта 1976 г. № 14	Срок введения в действие 1 января 1977 г.

Фундаменты, находящиеся в грунте, которые при эксплуатации постоянно подвергаются воздействию температур до 300°С, допускается принимать из обычного бетона.

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

Несущие элементы конструкций тепловых агрегатов, выполняемые из жаростойкого бетона, все сечение которых может быть нагрето выше 1000°С, допускается принимать только после опытной проверки.

Жаростойкие бетоны в элементах конструкций тепловых агрегатов рекомендуется применять по прил. 1.

Предельно допустимые температуры применения жаростойкого бетона в зависимости от вида вяжущего, заполнителей, тонкомолотых добавок и отвердителя, а также напряженного состояния конструкции приведены в табл. 9 настоящей Инструкции.

Примечание. В настоящей Инструкции приняты следующие наименования бетонов:

обычный — тяжелый бетон согласно п. 2.1 главы СНиП II-21-75;

жаростойкий — бетон в соответствии с государственным стандартом по классификации жаростойких бетонов.

1.3. Для конструкций, работающих при воздействии температуры выше 50°С, необходимо предусматривать защиту поверхности бетона от периодического замачивания.

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

1.4. Циклический нагрев — температурный режим, при котором в процессе эксплуатации конструкция периодически подвергается повторяющемуся нагреву с колебаниями температуры более 30% расчетной величины при частоте циклов от 3 часов до 15 дней.

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

1.5. При проектировании конструкций из жаростойких бетонов необходимо дополнительно учитывать требования к материалам для жаростойких бетонов, технологии приготовления, а также особенности производства работ.

ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

1.6. Бетонные и железобетонные конструкции, работающие в условиях воздействия повышенных и высоких температур, должны рассчитываться на основе положений главы СНиП II-21-75 с учетом дополнительных требований, изложенных в настоящей Инструкции.

При расчете бетонных и железобетонных конструкций необходимо учитывать изменения физико-механических и упругопластических свойств бетона и арматуры в зависимости от температуры воздействия. При этом усилия, деформации, образование, раскрытие и закрытие трещин определяются от воздействия как нагрузки (включая собственный вес), так и температуры.

Расчетные схемы и основные предпосылки расчета 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.

1.7. Расчет конструкций, работающих в условиях воздействия повышенных и высоких температур, должен производиться на все возможные неблагоприятные сочетания нагрузок: собственного веса, внешней нагрузки и воздействия температуры с учетом длительности их действия.

Расчет конструкций с учетом воздействия повышенных и высоких температур должен производиться для следующих двух 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 производить только на длительный нагрев. Расчет по образованию трещин необходимо производить на кратковременный и длительный нагрев 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, когда возникают наибольшие усилия от воздействия температуры (см. п. 1.11 настоящей Инструкции). При этом жесткость элемента определяется по пп. 4.17 и 4.18 настоящей Инструкции как для кратковременного действия всех нагрузок;

б) на длительный нагрев, когда происходит значительное снижение прочности и жесткости элементов в результате воздействия длительной нагрузки и длительного нагрева.

При этом жесткость элементов определяется по пп. 4.17 и 4.18 настоящей Инструкции как для длительного действия 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 перегрева по п. 1.28 настоящей Инструкции.

1.8. Величины нагрузок и воздействий, значения коэффициентов перегрузок, коэффициентов сочетаний, а также подразделение нагрузок на постоянные и временные-длительные, кратковременные, особые следует принимать в соответствии с требованиями главы СНиП по нагрузкам и воздействиям, с учетом дополнительных указаний п. 1.13 главы СНиП II-21-75.

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

При расчете по прочности в необходимых случаях должны учитываться особые нагрузки с коэффициентами перегрузки n, принимаемыми по соответствующим нормативным документам. При этом усилия, вызванные воздействием температуры, не учитываются.

1.9. К трещиностойкости конструкций (или их частей) должны предъявляться требования п. 1.17 главы СНиП II-21-75 с учетом дополнительных указаний настоящего пункта.

Таблица 1

Статическая схема конструкции и расчетная стадия работы	Нагрузки и коэффициенты перегрузки n, температурные воздействия и коэффициенты перегрева n_t, принимаемые при расчете		
	по прочности	на выносливость	по деформациям
Статически определимые конструкции при длительном нагреве	Постоянные, длительные и кратковременные нагрузки при $n>1$	Постоянные, длительные и кратковременные нагрузки при $n=1$	Постоянные, длительные и кратковременные нагрузки при $n=1$ и усадочно-температурные деформации от воздействия температуры при $n_t=1$
Статически неопределимые конструкции при кратковременном нагреве	Постоянные, длительные и кратковременные нагрузки при $n>1$ и наибольшие усилия от воздействия температуры при $n_t>1$	Постоянные, длительные и кратковременные нагрузки при $n=1$ и наибольшие усилия от воздействия температуры при $n_t=1$	Постоянные, длительные и кратковременные нагрузки при $n=1$ и усадочно-температурные деформации от воздействия температуры, вызывающей наибольшие усилия при $n_t=1$
Статически неопределимые конструкции при длительном нагреве	Постоянные, длительные и кратковременные нагрузки при $n>1$ и усилия от воздействия температуры при $n_t>1$	Постоянные, длительные и кратковременные нагрузки при $n=1$ и усилия от воздействия температуры при $n_t=1$	Постоянные, длительные и кратковременные нагрузки при $n=1$ и усадочно-температурные деформации от воздействия температуры при $n_t=1$

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 $\sigma_б < 1$ кгс/см²;

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 перегрева n_t должен приниматься по п. 1.28 настоящей Инструкции.

6. При расчете прогибов следует учитывать указания п. 1.17 настоящей Инструкции.

Таблица 2

Категории требований к трещиностойкости железобетонных конструкций	Нагрузки и коэффициент перегрузки n, воздействия температуры и коэффициент перегрева n_t, принимаемые при расчете			
	по образованию трещин	по раскрытию трещин		по закрытию трещин
		кратковременному	длительному	
1-я категория	Постоянные, длительные и кратковременные нагрузки при $n>1$* и температурные воздействия от кратковременного и длительного нагрева при $n_t>1$*	—	—	—
2-я категория	Постоянные, длительные и кратковременные нагрузки при $n>1$* и температурные воздействия от кратковременного и длительного нагрева при $n_t>1$* (расчет производится для выяснения необходимости проверки по раскрытию трещин и их закрытию)	Постоянные, длительные и кратковременные нагрузки при $n=1$ и температурные воздействия от кратковременного и длительного нагрева при $n_t=1$	—	Постоянные и длительные нагрузки при $n=1$ и температурные воздействия от длительного нагрева при $n_t=1$
3-я категория	Постоянные, длительные и кратковременные нагрузки при $n=1$ и температурные воздействия от кратковременного и длительного нагрева при $n_t=1$ (расчет производится для выяснения необходимости проверки по раскрытию трещин)	Постоянные, длительные и кратковременные нагрузки при $n=1$ и температурные воздействия от кратковременного и длительного нагрева при $n_t=1$	Постоянные и длительные нагрузки при $n=1$ и температурные воздействия от длительного нагрева при $n_t=1$	—

* Коэффициент перегрузки n и коэффициент перегрева n_t принимаются как при расчете по прочности.

Примечания: 1. Длительные и кратковременные нагрузки принимаются с учетом п. 1.13 главы СНиП II-21-75.

2. При расчете по образованию трещин на температурные воздействия необходимо учитывать требования п. 4.2 настоящей Инструкции.

3. При расчете по раскрытию трещин на температурные воздействия необходимо учитывать различие температурных деформаций бетона и арматуры по п. 4.8 настоящей Инструкции.

4. Коэффициент перегрева n_t должен приниматься по п. 1.28 настоящей Инструкции.

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

Категории требований к трещиностойкости железобетонных конструкций в зависимости от условий работы, вида арматуры, а также величины предельно допустимой ширины раскрытия трещин с учетом воздействия температуры для элементов, эксплуатируемых в условиях неагрессивной среды, приведены в табл. 3 настоящей Инструкции.

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

1.11. При кратковременном нагреве усилия от воздействия температуры в элементах статически неопределимых конструкций должны определяться в зависимости от температуры бетона, вызывающей наибольшие усилия:

а) при нагреве выше 50 до 500°С — по расчетной температуре;

б) при нагреве выше 500°С для бетона составов (см. табл. 9 настоящей Инструкции):

№ 5—11, 19—21, 23, 24	— при 500°С;
№ 12—18, 27, 29	— при 600°С.

Для конструкций, находящихся на открытом воздухе, расчет наибольших усилий от воздействия температур производят, принимая расчетные температуры воздуха, по п. 1.41 настоящей Инструкции.

При длительном нагреве усилия от воздействия температуры следует определять в зависимости от расчетной температуры.

1.12. При расчете по прочности, деформациям, а также раскрытию и закрытию трещин распределение температуры в сечениях конструкций определяется из теплотехнического расчета для установившегося режима теплового потока. При расчете по образованию трещин распределение температур в сечениях конструкций определяется для неустановившегося потока тепла по пп. 1.35—1.41 настоящей Инструкции.

Таблица 3

Условия работы конструкции	Температура нагрева арматуры, °С	Категории требований к трещиностойкости железобетонных конструкций и предельно допустимая ширина кратковременного и длительного раскрытия трещин $a_{т.кр}$ и $a_{т.дл}$ при арматуре			
		стержневой классов А-I, А-II и А-III	стержневой классов А-IV, Ат-IV, А-V и Ат-V, проволочной классов В-I и Вр-I	стержневой класса Ат-VI, проволочной классов В-II, Вр-II и К-7 при диаметре проволоки 4 мм и более	проволочной классов В-II и Вр-II при диаметре проволоки 3 мм, класса К-7 при диаметре проволоки 3 мм и менее
1. Элементы с полностью растянутым сечением, воспринимающие давление жидкостей или газов, а также эксплуатируемые в грунте ниже уровня грунтовых вод	До 130	3-я категория $a_{т.кр}$=0,2 мм $a_{т.дл}$=0,1 »	1-я категория	1-я категория	1-я категория
	Свыше 130	3-я категория $a_{т.кр}$=0,25 мм $a_{т.дл}$=0,15 »			
2. То же, при частично сжатом сечении	До 130	3-я категория $a_{т.кр}$=0,3 мм $a_{т.дл}$=0,2 »	3-я категория $a_{т.кр}$=0,3 мм $a_{т.дл}$=0,2 »	2-я категория $a_{т.кр}$=0,1 мм	1-я категория
	Свыше 130	3-я категория $a_{т.кр}$=0,4 мм $a_{т.дл}$=0,3 »	3-я категория $a_{т.кр}$=0,4 мм $a_{т.дл}$=0,3 »	2-я категория $a_{т.кр}$=0,2 мм	
3. Элементы хранилищ сыпучих тел, непосредственно воспринимающие их давление	До 130	3-я категория $a_{т.кр}$=0,3 мм $a_{т.дл}$=0,2 »	3-я категория $a_{т.кр}$=0,3 мм $a_{т.дл}$=0,2 »	2-я категория $a_{т.кр}$=0,1 мм	2-я категория $a_{т.кр}$=0,05 мм
	Свыше 130	3-я категория $a_{т.кр}$=0,4 мм $a_{т.дл}$=0,3 »	3-я категория $a_{т.кр}$=0,4 мм $a_{т.дл}$=0,3 »	2-я категория $a_{т.кр}$=0,2 мм	2-я категория $a_{т.кр}$=0,1 мм
4. Прочие элементы, эксплуатируемые на открытом воздухе, а также в грунте выше уровня грунтовых вод	До 130	3-я категория $a_{т.кр}$=0,4 мм $a_{т.дл}$=0,3 »	3-я категория $a_{т.кр}$=0,4 мм $a_{т.дл}$=0,3 »	2-я категория $a_{т.кр}$=0,15 мм	2-я категория $a_{т.кр}$=0,05 мм
	Свыше 130	3-я категория $a_{т.кр}$=0,6 мм $a_{т.дл}$=0,5 »	3-я категория $a_{т.кр}$=0,6 мм $a_{т.дл}$=0,5 »	2-я категория $a_{т.кр}$=0,25 мм	2-я категория $a_{т.кр}$=0,1 мм
5. То же, в закрытом помещении	До 130	3-я категория $a_{т.кр}$=0,4 мм $a_{т.дл}$=0,3 »	3-я категория $a_{т.кр}$=0,4 мм $a_{т.дл}$=0,3 »	3-я категория $a_{т.кр}$=0,15 мм $a_{т.дл}$=0,1 »	2-я категория $a_{т.кр}$=0,15 мм
	Свыше 130	3-я категория $a_{т.кр}$=0,6 мм $a_{т.дл}$=0,5 »	3-я категория $a_{т.кр}$=0,6 мм $a_{т.дл}$=0,5 »	3-я категория $a_{т.кр}$=0,25 мм $a_{т.дл}$=0,2 »	2-я категория $a_{т.кр}$=0,25 мм

1.13. При расчете усилий, вызванных воздействием температуры, в сборных элементах конструкций жесткость сечений следует уменьшить на 20%, когда марка раствора в стыке на 100 кгс/см^2 меньше марки бетона сборного элемента.

1.14. Расчет элементов бетонных и железобетонных конструкций по прочности, схемы предельных состояний которых при расчете на воздействие температуры еще не установлены или для которых условия наступления предельного состояния пока не могут быть выражены через усилия (например, купола, прямоугольные плиты и т. д.), 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.

1.15. При расчете несущих конструкций, бетон которых неравномерно нагрет по высоте сечения элемента, часть сечения, нагретую выше 1000°С, допускается не учитывать.

1.16. 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 трещин без использования ЭВМ при прямолинейном распределении температуры бетона по высоте сечения элемента допускается разбивать сечения согласно следующим указаниям:

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

$$J_п = \frac{J\beta_б\bar{\nu}}{K_п}, \qquad (1)$$

где $\beta_б$ — коэффициент, принимаемый в зависимости от температуры бетона в центре тяжести сечения по табл. 10 настоящей Инструкции;

$\bar{\nu}$ — коэффициент, принимаемый в зависимости от температуры бетона в центре тяжести сечения по табл. 12 настоящей Инструкции для кратковременного нагрева.

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 части (рис. 1, *а*);

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

При расчете по образованию трещин определение напряжений от воздействия температуры производится, разбивая сечение не менее чем на четыре части независимо от температуры бетона (рис. 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, равную 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 границе бетонов.

Во всех случаях расчета арматура рассматривается как самостоятельная часть сечения.

Приведенная площадь $F_{п.i}$ *i*-той части сечения, на которые разбивается все сечение элемента, определяется по формуле

$$F_{п.i} = \frac{F_i \beta_{бi} \bar{\nu}_i}{k_п}, \qquad (2)$$

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

$\beta_{бi}$ и $\bar{\nu}_i$ — коэффициенты, принимаемые в зависимости от температуры бетона в центре тяжести площади *i*-той части сечения, как в формуле (1);

$k_п$ — коэффициент, учитывающий влияние кратковременной ползучести бетона и принимаемый для бетона составов (см. табл. 9 настоящей Инструкции):
№ 1—3, 6, 7, 13, 20 и 21 — 0,85;
№ 4, 5, 8—12, 14—19, 23, 24 и 29 — 0,7.

При расчете без использования ЭВМ коэффициенты $\beta_{бi}$ и $\bar{\nu}_i$ допускается определять в зависимости от средней температуры бетона *i*-той части сечения.

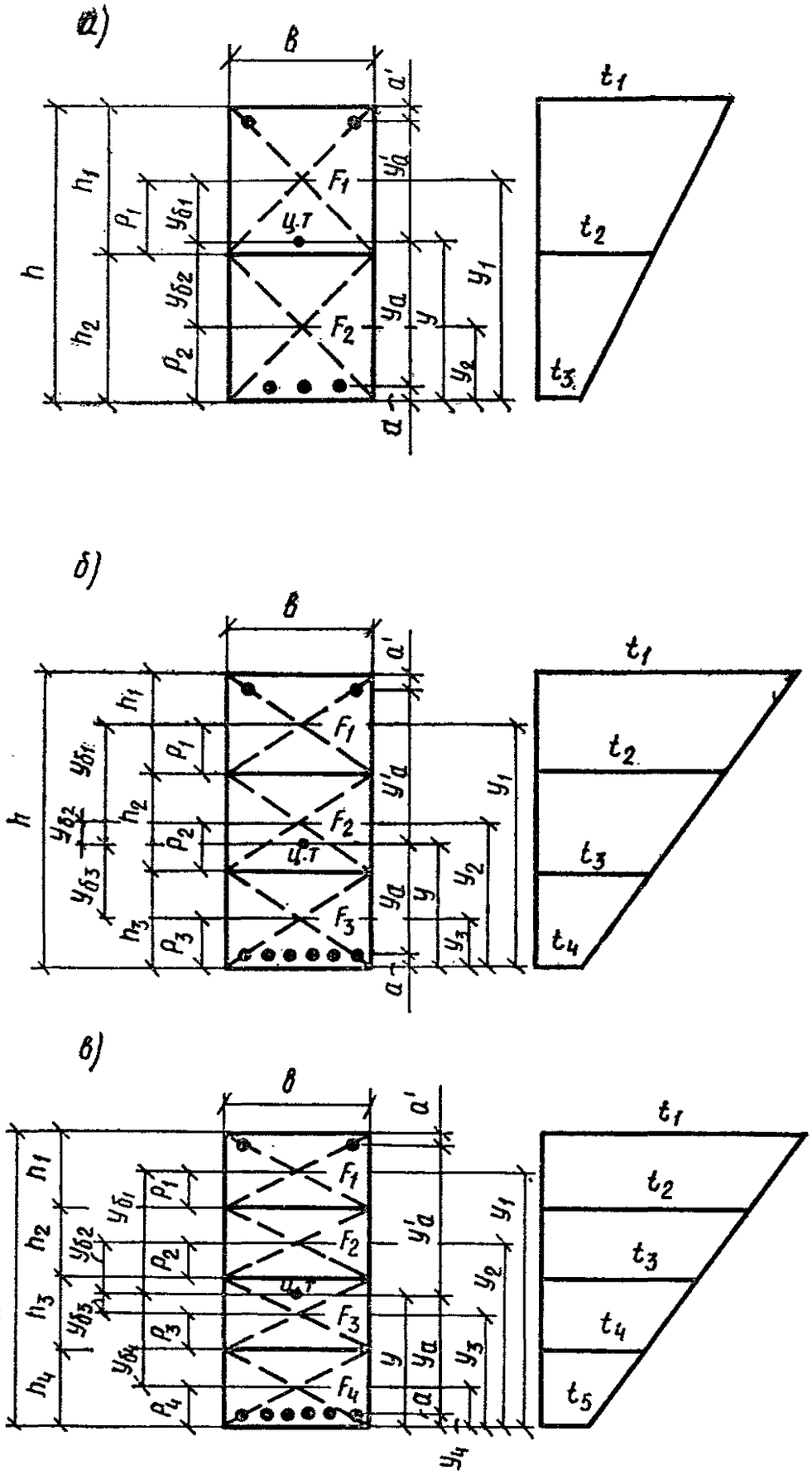
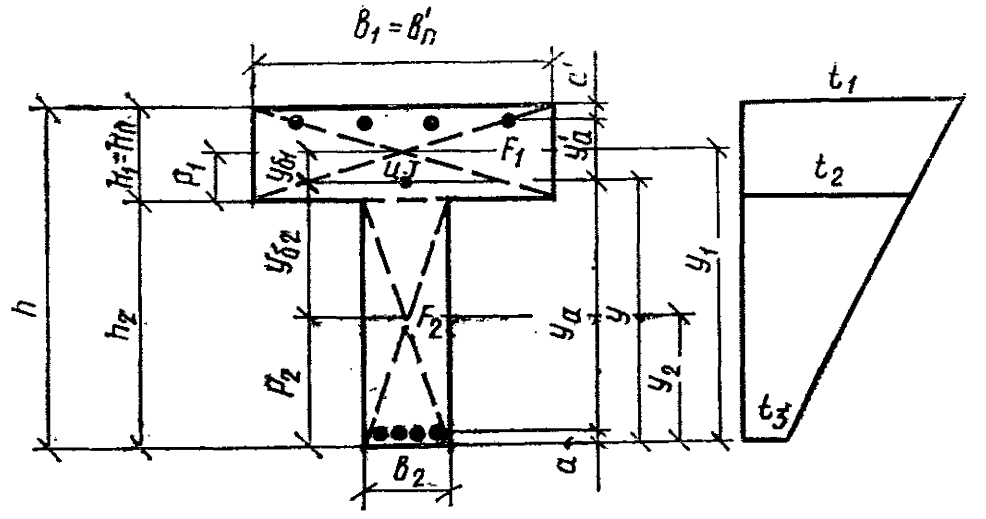
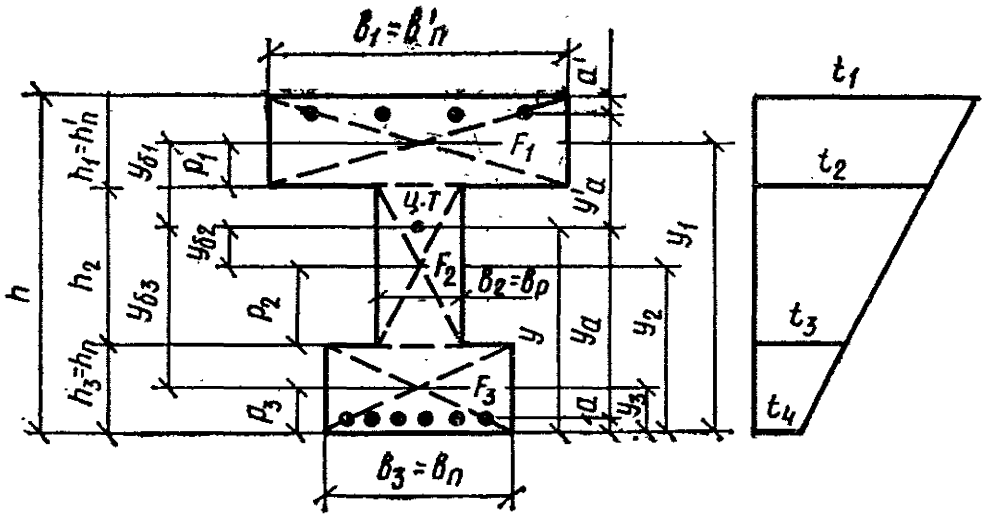
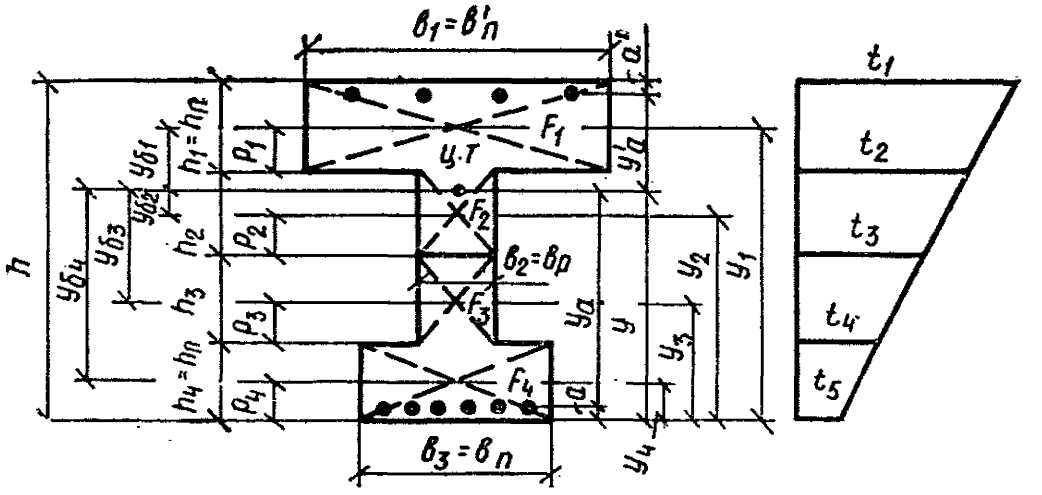


Рис. 1. Схемы разбивки на части высоты прямоугольного, таврового и двутаврового сечения элементов

а — на 2 части; *б* — на 3 части; *в* — на 4 части


$B_1 = B'_п$
$h_1 = h'_п$
p_1
$y_{б1}$
ц.т
F_1
y'_a
$y_{б2}$
F_2
y_a
y
y_1
y_2
p_2
h
h_2
B_2
a
t_1
t_2
t_3


$B_1 = B'_п$
a'
$h_1 = h'_п$
$y_{б1}$
p_1
F_1
ц.т
y'_a
$y_{б2}$
y_1
F_2
$B_2 = B_р$
h
h_2
$y_{б3}$
p_2
y
y_a
y_2
$h_3 = h_п$
F_3
p_3
a
y_3
$B_3 = B_п$
t_1
t_2
t_3
t_4


$B_1 = B'_п$
a'
$h_1 = h_п$
p_1
$y_{б1}$
ц.т
F_1
y'_a
$y_{б2}$
F_2
$y_{б3}$
h_2
p_2
$B_2 = B_р$
h
$y_{б4}$
h_3
p_3
F_3
y_a
y
y_3
y_2
y_1
$h_4 = h_п$
p_4
F_4
a
$B_3 = B_п$
y_4
t_1
t_2
t_3
t_4
t_5

Площадь ненапрягаемой нагретой растянутой F_a и сжатой F'_a арматуры приводится к ненагретому, более прочному бетону:

$$F_{п.а} = \frac{F_a E_a \beta_a}{E_б}; \tag{3}$$

$$F'_{п.а} = \frac{F'_a E_a \beta_a}{E_б}, \tag{4}$$

где E_a — модуль упругости арматуры, принимаемый для основных видов по табл. 29 СНиП II-21-75, и жаростойкой — по табл. 18 настоящей Инструкции;

β_a — коэффициент, принимаемый в зависимости от температуры арматуры по табл. 20 настоящей Инструкции.

Расстояние от центра тяжести приведенного сечения до наименее нагретой грани определяется по формуле

$$y = \frac{S_п}{F_п}. \tag{5}$$

Площадь приведенного сечения элемента определяется по формуле

$$F_п = \Sigma F_{п\,i} + F_{п.а} + F'_{п.а}. \tag{6}$$

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

$$S_п = \Sigma F_{п i} y_i + F_{п.а} a + F'_{п.а}(h - a'), \tag{7}$$

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

$$y_i = h - \Sigma h_i + p_i. \tag{8}$$

Здесь

$$p_i = \frac{h_i (2\beta_{б\,i} + \beta_{б\,i+1})}{3(\beta_{б\,i} + \beta_{б\,i+1})}. \tag{9}$$

При расчете без использования ЭВМ допускается принимать

$$p_i = 0{,}5 h_i. \tag{10}$$

Момент инерции приведенного сечения элемента относительно его центра тяжести определяется по формуле

$$J_п = \Sigma J_{п\,i} + \Sigma F_{п\,i} y^2_{б\,i} + F_{п.а} y^2_а + F'_{п.а}(y'_а)^2, \tag{11}$$

где $_{\text{п}i}$ — момент инерции i-той части сечения бетона, определяемый по формуле

$$J_{\text{п}\,i} = \frac{F_{\text{п}i} h_i^2}{12}; \qquad (12)$$

y_{6i} — расстояние от центра тяжести i-той части сечения бетона до центра тяжести всего приведенного сечения:

$$y_{6i} = y_i - y; \qquad (13)$$

$$y_a = y - a; \qquad (14)$$

$$y'_a = h - y - a'. \qquad (15)$$

1.17. Расчет прогибов элементов железобетонных конструкций должен производиться по п. 1.21 главы СНиП II-21-75. Кроме прогиба от нагрузки должен учитываться прогиб от неравномерного нагрева бетона по высоте сечения элемента по пп. 4.14—4.16 настоящей Инструкции.

Расчет прогибов должен производиться:

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

при ограничении эстетическими требованиями, с учетом прогиба от длительного нагрева.

Прогибы от нагрузки и воздействия температуры не должны превышать предельно допустимых величин, указанных в табл. 2 главы СНиП II-21-75. При этом коэффициент перегрева по п. 1.28 настоящей Инструкции принимается 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.

1.18. Расстояния между температурно-усадочными швами в бетонных и железобетонных конструкциях из обычного и жаростойкого бетонов должны устанавливаться расчетом. Допускается указанный расчет не производить для конструкций из обычного и жаростойкого бетона, работающих в условиях воздействия повышенных и высоких температур, если соблюдаются требования п. 1.23 главы СНиП II-21-75 и принятое расстояние между температурно-усадочными швами не превы-

шает величины по табл. 3 главы СНиП II-21-75, умноженной на коэффициент k_t, принимаемый по табл. 4 настоящей Инструкции.

Таблица 4

Расчетная температура, °С	Значение коэффициента k_t
50	1
70	0,9
120	0,8
200	0,6
500	0,3
800	0,2
1000 и выше	0,1

Примечание. Коэффициент k_t для промежуточных величин температуры принимается по интерполяции.

Расстояние между температурными швами в фундаментах принимается в соответствии с расположением швов в вышележащих конструкциях.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО-НАПРЯЖЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

1.19. Расчет предварительно-напряженных конструкций, работающих в условиях воздействия повышенных и высоких температур, должен производиться в соответствии с главой СНиП II-21-75 с учетом дополнительных указаний пп. 1.20—1.26 настоящей Инструкции.

1.20. Температура нагрева предварительно-напряженной арматуры не должна превышать предельно допустимой температуры ее применения, указанной в табл. 17 настоящей Инструкции.

1.21. Сжимающие напряжения в бетоне в стадии предварительного обжатия $\sigma_{б.н}$ не должны превышать:

а) для конструкций из обычного бетона, подвергающихся воздействию повышенных температур при относительной влажности воздуха:

40% и ниже	$-0,5R_0$,
свыше 40% и ниже 70%	$-0,4R_0$,
70% и свыше	$-0,3R_0$.

б) для конструкций из жаростойкого бетона при воздействии температур:

до 400°С	$-0{,}3\,R_0$,
свыше 400°С	$-0{,}2\,R_0$.

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

основных — без учета воздействия температуры;

дополнительных — от воздействия температуры.

Основные потери предварительного напряжения арматуры для конструкций из обычного бетона состава № 1 и жаростойкого бетона составов № 10 и 11 по табл. 9 настоящей Инструкции следует определять как для тяжелого бетона по табл. 4 главы СНиП II-21-75. Величину потерь от усадки жаростойкого бетона следует принимать на 100 кгс/см^2 больше указанных в п. 8 «а» табл. 4 главы СНиП II-21-75.

При вычислении коэффициента β по формуле (6) главы СНиП II-21-75 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 должны приниматься по табл. 5 настоящей Инструкции.

1.23. Величины установившихся напряжений в бетоне $\sigma_б$ после проявления всех основных потерь должны определяться по формуле

$$\sigma_б = \frac{N_0}{F_п} \pm \frac{N_0 e_{0н} y_н}{J_п} \mp \frac{M e_{0н}}{J_п}. \qquad (16)$$

1.24. Геометрические характеристики приведенного сечения предварительно-напряженного железобетонного элемента ($F_п$, $S_п$, $J_п$) определяются по п. 1.16 настоящей Инструкции, с учетом продольной предварительно-напряженной арматуры A и A' и влияния температуры на снижение модулей упругости арматуры и бетона.

1.25. Усилия от воздействия температуры в статически неопределимых предварительно-напряженных железобетонных конструкциях определяют по пп. 1.33 и 1.34 настоящей Инструкции.

Таблица 5

Наименование факторов, вызывающих потери предварительного напряжения арматуры	Величина дополнительных потерь предварительного напряжения, кгс/см²
1. Усадка обычного бетона состава № 1 и жаростойкого бетона составов № 10 и 11 по табл. 9 настоящей Инструкции при нагреве:	
а) постоянном	600
б) циклическом	400
(см. п. 1.4 настоящей Инструкции)	
2. Ползучесть обычного бетона состава № 1 и жаростойкого бетона составов № 10 и 11 по табл. 9 настоящей Инструкции:	
высыхающего бетона при нагреве:	
а) постоянном	$7\,\sigma_б$
б) циклическом	$10\,\sigma_б$
бетона естественной влажности при нагреве:	
в) постоянном	$15\,\sigma_б$
г) циклическом	$18\,\sigma_б$
3. Релаксация напряжений арматуры:	
а) проволочной классов В-II, Вр-II и К-7	$0{,}0012\,\Delta t_a\sigma_0$
б) стержневой классов А-IV, Ат-IV, А-V, Ат-V и Ат-VI	$0{,}001\,\Delta t_a\sigma_0$
4. Разность деформаций бетона и арматуры от воздействия температуры	$(\alpha_{at}-\alpha_{бt})\Delta t_a E_a \beta_a$

В табл. 5: Δt_a — разность между температурой арматуры при эксплуатации, определяемой теплотехническим расчетом по пп. 1.35—1.41 настоящей Инструкции и температурой арматуры при натяжении, которую допускается принимать равной 20°С;

$\alpha_{бt}$ — коэффициент, принимаемый по табл. 14 настоящей Инструкции в зависимости от температуры бетона на уровне напрягаемой арматуры;

α_{at} — коэффициент, принимаемый по табл. 20 настоящей Инструкции;

E_a — модуль упругости арматуры, принимаемый по табл. 29 главы СНиП II-21-75;

β_a — коэффициент, принимаемый по табл. 20 настоящей Инструкции в зависимости от температуры арматуры.

Примечания: 1. Потери предварительного напряжения от релаксации напряжений арматуры 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 кратковременном нагреве арматуры выше 100°С и в элементах из жаростойкого бетона при кратковременном нагреве арматуры выше 70°С;

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

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

1.26. При определении общего прогиба предварительно-напряженного железобетонного элемента необходимо учитывать прогиб, вызванный неравномерным нагревом бетона по высоте сечения элемента, по п. 4.16 настоящей Инструкции.

ДЕФОРМАЦИИ И УСИЛИЯ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

1.27. 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.

1.28. 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 п. 1.16 настоящей Инструкции, удлинение ε_t оси элемента и ее кривизна $\frac{1}{\rho_t}$ определяются по формулам:

$$\varepsilon_t = \frac{\Sigma F_{\text{п}.i}\varepsilon_{t.i} + F'_{\text{п}.\text{а}}\varepsilon'_{\text{а}} + F_{\text{п}.\text{а}}\varepsilon_{\text{а}}}{F_{\text{п}}} n_t; \tag{17}$$

$$\frac{1}{\rho_t} = \frac{\Sigma F_{\text{п}.i} y_{\text{б}.i}\varepsilon_{t.i} + F'_{\text{п}.\text{а}} y'_{\text{а}}\varepsilon'_{\text{а}} + F_{\text{п}.\text{а}} y_{\text{а}}\varepsilon_{\text{а}} + \Sigma \frac{1}{\rho_{t.i}} J_{\text{п}.i}}{J_{\text{п}}} n_t. \tag{18}$$

Удлинение ε_{ti} оси i-той части бетонного сечения и ее кривизна $\frac{1}{\rho_{t.i}}$ (рис. 2) определяются по формулам:

$$\varepsilon_{t\,i} = \frac{\alpha_{\text{б}\,t\,i} t_{\text{б}\,i} p_i + \alpha_{\text{б}\,t\,i+1} t_{\text{б}\,i+1} (h_i - p_i)}{h_i}; \tag{19}$$

$$\frac{1}{\rho_{t.i}} = \frac{\alpha_{\text{б}\,ti} t_{\text{б}i} - \alpha_{\text{б}ti+1} t_{\text{б}i+1}}{h_i}. \tag{20}$$

Удлинения ε_a и ε'_a соответственно арматуры A и A' определяются по формулам:

$$\varepsilon_a = \alpha_{at} t_a; \tag{21}$$

$$\varepsilon'_a = \alpha_{a\,t} t'_a. \tag{22}$$

В формулах (17)—(22):

$F_п$, $F_{п.i}$, $F_{п.a}$, $F'_{п.a}$, $y_{бi}$, y_a, y'_a, $J_п$, $J_{пi}$, p_i принимаются по п. 1.16 настоящей Инструкции;

$\alpha_{бti}$ и $\alpha_{бti+1}$ — коэффициенты, принимаемые по табл. 14 настоящей Инструкции в зависимости от температуры бетона более и менее нагретой грани i-той части сечения;

α_{at} — коэффициент, принимаемый по табл. 20 настоящей Инструкции в зависимости от температуры арматуры A и A';

n_t — коэффициент перегрева, принимаемый при расчете по предельным состояниям: первой группы — 1,1; второй группы — 1.

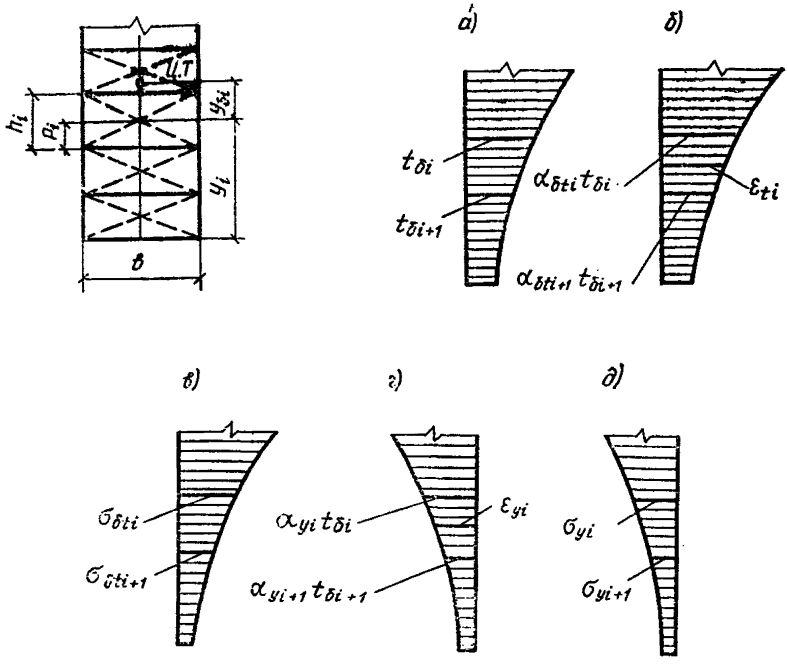


Рис. 2. Схемы распределения

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 температур по высоте бетонного сечения элемента

При расчете бетонного сечения в формулах (17) и (18) настоящей Инструкции удлинение арматуры ε_a и ε'_a не учитывается;

б) при неравномерном нагреве бетона с прямолинейным распределением температуры по высоте сечения

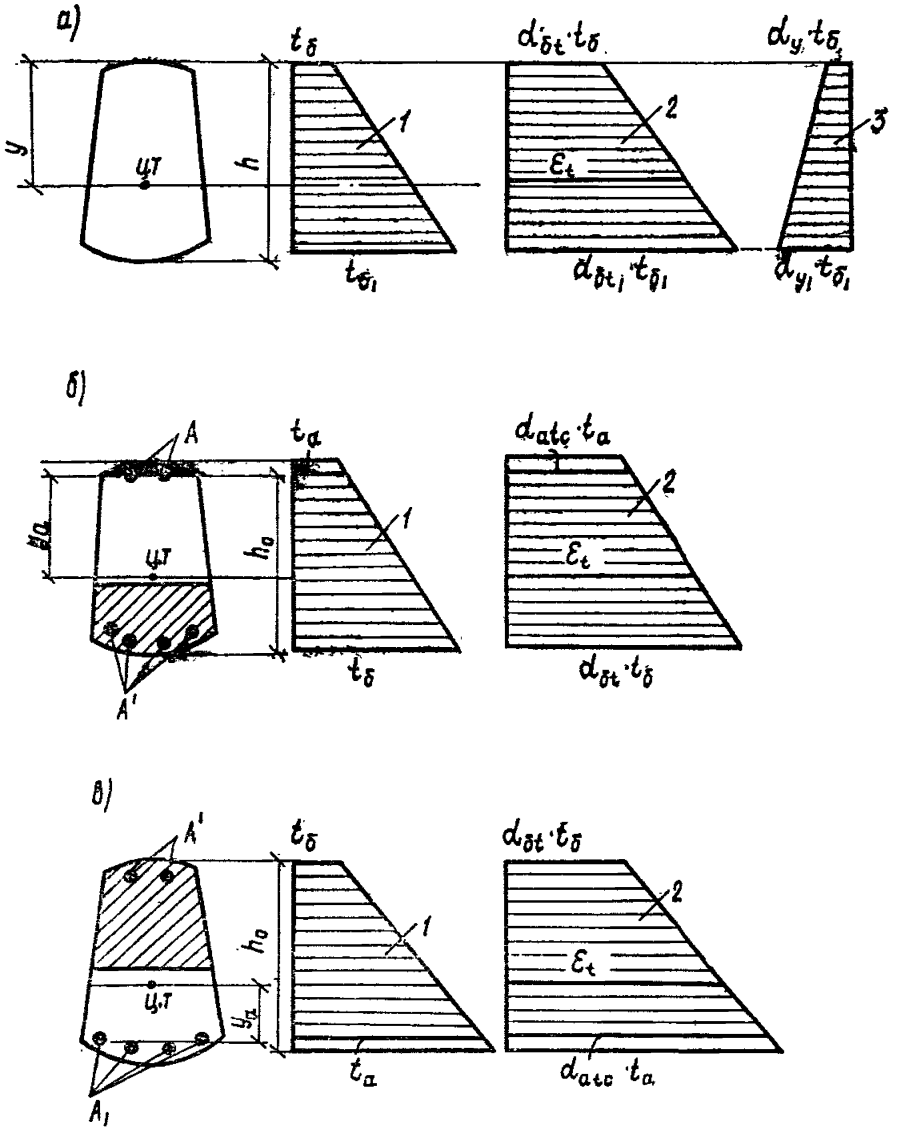


Рис. 3. Схемы распределения температур и деформаций от неравномерного нагрева при прямолинейном изменении температур по высоте сечений элементов

а — бетонного и железобетонного без трещин; *б* — железобетонного с трещинами в растянутой зоне, расположенной у менее нагретой грани; *в* — то же, и более нагретой грани; *1* — температуры бетона; *2* — деформаций удлинения от нагрева; *3* — деформаций укорочения от остывания

элемента (рис. 3, *а*) удлинение ε_t оси элемента и ее кривизну $\frac{1}{\rho_t}$ допускается определять по формулам:

$$\varepsilon_t = \frac{\alpha_{бt} t_б (h - y) + \alpha_{бt_1} t_{б_1} y}{h} n_t; \tag{23}$$

$$\frac{1}{\rho_t} = \frac{\alpha_{бt_1} t_{б_1} - \alpha_{бt} t_б}{h} n_t, \tag{24}$$

где $t_б$ и $t_{б_1}$ — температура бетона менее и более нагретой грани сечения, определяемая теплотехническим расчетом по пп. 1.35—1.41 настоящей Инструкции;

$\alpha_{бt}$ и $\alpha_{бt_1}$ — коэффициенты, принимаемые в зависимости от температуры бетона менее и более нагретой грани сечения по табл. 14 настоящей Инструкции.

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

а) сечение элемента приводится к более прочному бетону по п. 1.16 настоящей Инструкции, укорочение ε_y оси элемента и ее кривизна $\frac{1}{\rho_y}$ определяются по формулам:

$$\varepsilon_y = \frac{\Sigma F_{п\,i} \varepsilon_{y\,i}}{F_п} n_t; \tag{25}$$

$$\frac{1}{\rho_y} = \frac{\Sigma F_{п\,i} y_{б\,i} \varepsilon_{y\,i} + \Sigma \frac{1}{\rho_{y\,i}} J_{п\,i}}{J_п} n_t. \tag{26}$$

Укорочение ε_{yi} оси i-той части бетонного сечения и ее кривизна $\frac{1}{\rho_{y\,i}}$ определяются по формулам:

$$\varepsilon_{y\,i} = \frac{\alpha_{y\,i} t_{б\,i} p_i + \alpha_{y\,i+1} t_{б\,i+1} (h_i - p_i)}{h_i}; \tag{27}$$

$$\frac{1}{\rho_{y\,i}} = \frac{\alpha_{y} t_{бi} - \alpha_{y\,i+1} t_{б\,i+1}}{h_i}. \tag{28}$$

В формулах (25—(28):

$F_{пi}$, $F_п$, $y_{бi}$, $J_{пi}$, $J_п$, h_i, p_i принимаются по п. 1.16 настоящей Инструкции;

n_t — согласно п. 1.28 настоящей Инструкции;

$t_{бi}$ и $t_{бi+1}$ — см. рис. 2;

α_{yi} и α_{yi+1} — коэффициенты, принимаемые по табл. 15 настоящей Инструкции в зависимости от температуры более и менее нагретой грани i-той части сечения;

б) при остывании с неравномерным нагревом бетона и прямолинейным распределением температуры по высоте сечения элемента укорочение ε_y оси элемента и ее кривизну $\frac{1}{\rho_y}$ допускается определять по формулам:

$$\varepsilon_y = -\frac{\alpha_y t_б (h-y) + \alpha_{y_1} t_{б_1} y}{h} n_t; \qquad (29)$$

$$\frac{1}{\rho_y} = \frac{\alpha_{y_1} t_{б_1} - \alpha_y t_б}{h} n_t, \qquad (30)$$

где α_y и α_{y_1} — коэффициенты, принимаемые по табл. 15 настоящей Инструкции в зависимости от температуры бетона менее и более нагретой грани сечения;

n_t, $t_б$, $t_{б_1}$ — принимаются по п. 1.28 настоящей Инструкции.

1.30. 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 по формулам:

при нагревании

$$\sigma_{p\,t\,i} = \left(\varepsilon_t - \alpha_{бti} t_{бi} + y_{б\,i} \frac{1}{\rho_t}\right) E_б \beta_{бi} \bar{\nu}_i; \qquad (31)$$

при остывании

$$\sigma_{y\,i} = \left(\varepsilon_y - \alpha_{y\,i} t_{б\,i} + y_{бi} \frac{1}{\rho_y}\right) E_б, \qquad (32)$$

где $y_{бi}$, ε_t, $\frac{1}{\rho_t}$ — определяются соответственно по формулам (13), (17) и (18) настоящей Инструкции;

$\alpha_{бti}$, $t_{бi}$ — принимаются по п. 1.28 настоящей Инструкции;

$E_б$ — принимается по табл. 11 настоящей Инструкции;

$\beta_{бi}$ и $\bar{\nu}_i$ — коэффициенты, принимаемые по табл. 10 и 12 настоящей Инструкции в зависимости от температуры бетона грани i-той части сечения;

ε_y и $\frac{1}{\rho_y}$ — определяются соответственно по формулам (25) и (26) настоящей Инструкции.

1.31. 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 (рис. 3, *б*), удлинение ε_t оси элемента и ее кривизна $\frac{1}{\rho_t}$ определяются по формулам:

$$\varepsilon_t = \frac{\alpha_{бt} t_б y_a + \alpha_{atc} t_a (h_0 - y_a)}{h_0} n_t; \quad (33)$$

$$\frac{1}{\rho_t} = \frac{\alpha_{бt} t_б - \alpha_{atc} t_a}{h_0} n_t; \quad (34)$$

б) для участков железобетонного элемента с трещинами в растянутой зоне бетона, расположенной у более нагретой грани сечения (рис. 3, *в*), удлинение ε_t оси элемента определяется по формуле (33) настоящей Инструкции и ее кривизна $\frac{1}{\rho_t}$ — по формуле

$$\frac{1}{\rho_t} = \frac{\alpha_{atc} t_a - \alpha_{бt} t_б}{h_0} n_t. \quad (35)$$

В формулах (33)—(35):

t_a — температура арматуры A;

$t_б$ — температура бетона сжатой грани сечения;

α_{atc} — коэффициент, определяемый по формуле (41) настоящей Инструкции;

$\alpha_{бt}$ — коэффициент, принимаемый по табл. 14 настоящей Инструкции в зависимости от температуры бетона более нагретой грани сечения;

n_t — принимается по п. 1.28 настоящей Инструкции.

При равномерном нагреве железобетонного элемента кривизну $\frac{1}{\rho_t}$ 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 $\frac{1}{\rho_t}$ по формулам (23) и (24) настоящей Инструкции, как для бетонных элементов без трещин.

1.32. Для участков железобетонных элементов, где в растянутой зоне образуются трещины, нормальные к продольной оси элемента, при остывании укорочение ε_y оси элемента и ее кривизну $\frac{1}{\rho_y}$ допускается определять по формулам (29) и (30) настоящей Инструкции.

1.33. 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 вычисляется в зависимости от действующих усилий для достаточного количества участков, на которые разбивается пролет элемента, принятия на каждом участке жесткости сечения по пп. 4.17 и 4.18 настоящей Инструкции. При определении жесткости следует учитывать усилия от нагрузки и воздействия температуры согласно табл. 1 и 2 настоящей Инструкции.

Удлинение оси каждого участка длины элемента и ее кривизна от воздействия температуры должны вычисляться по пп. 1.27—1.31 настоящей Инструкции.

Расчет статически неопределимых железобетонных конструкций на воздействие температуры необходимо выполнять методом последовательных приближений 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 при ручном счете жесткость сечений $B_{\text{п}}$, удлинение оси $\varepsilon_{\text{п}t}$ и ее кривизну $\frac{1}{\rho_{\text{п}t}}$ допускается принимать приведенные постоянные по длине элемента.

Приведенная жесткость сечения определяется по формуле

$$B_{\text{п}} = B + (B_1 - B)\, k_{\text{м}}. \qquad (36)$$

Приведенное удлинение $\varepsilon_{\text{п}t}$ оси элемента и ее кривизну $\frac{1}{\rho_{\text{п}t}}$ от нагрева определяют по формулам:

$$\varepsilon_{\text{п}t} = \varepsilon_{t1} + (\varepsilon_{t2} - \varepsilon_{t1})\, k_{\text{м}}; \qquad (37)$$

$$\frac{1}{\rho_{\text{п}t}} = \frac{1}{\rho_{t1}} + \left(\frac{1}{\rho_{t2}} - \frac{1}{\rho_{t1}}\right) k_{\text{м}}. \qquad (38)$$

В формулах (36)—(38):

B — жесткость сечения элемента с трещинами в растянутой зоне в месте действия наибольшего изгибающего момента M, определяемая по п. 4.18 настоящей Инструкции;

B_1 — жесткость сечения элемента без трещин, определяемая по п. 4.17 настоящей Инструкции;

$$k_{\text{м}} = \exp\left(-\frac{(M - M_{\text{т}})}{1{,}25\,M_{\text{т}}}\right); \qquad (39)$$

при $M \geqslant 2{,}5\,M_{\text{т}}$ принимается $k_{\text{м}}=0$; $B_{\text{п}}=B$; $\varepsilon_{\text{п}t}=\varepsilon_{t1}$ и $\frac{1}{\rho_{\text{п}t}} = \frac{1}{\rho_t}$;

M и $M_{\text{т}}$ — наибольший изгибающий момент и момент, воспринимаемый сечением, нормальным к продольной оси элемента, при образовании трещин, определяемый по п. 4.3 настоящей Инструкции;

ε_{t2}, $\frac{1}{\rho_{t2}}$ — удлинение оси и ее кривизна элемента без трещин от воздействия температуры, определяемые по п. 1.28 настоящей Инструкции;

ε_{t1}, $\frac{1}{\rho_{t1}}$ — удлинение оси и ее кривизна элемента с трещинами в растянутой зоне, определяемые по п. 1.31 настоящей Инструкции.

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

$$M_t = \frac{1}{\rho_t} B, \qquad (40)$$

где $\frac{1}{\rho_t}$ — кривизна оси элемента от нагрева, определяемая по пп. 1.28 и 1.31 настоящей Инструкции;

B — жесткость сечения, определяемая по пп. 4.17 и 4.18 настоящей Инструкции.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР В СЕЧЕНИЯХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ

1.35. Расчет распределения температур в бетонных и железобетонных конструкциях для установившегося потока тепла следует производить, пользуясь методами расчета температур ограждающих конструкций согласно главе СНиП по строительной теплотехнике.

Расчет распределения температур в ограждающих конструкциях сложной конфигурации сечений элементов, в массивных конструкциях, в конструкциях, находящихся ниже уровня земли, а также при неустановившемся потоке тепла с учетом переменной влажности бетона по сечению должен производиться методами расчета температурных полей или теории теплопровод-

ности, 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 нагретым с прямолинейным распределением температур бетона и величину коэффициента теплоотдачи наружной поверхности стенки $\alpha_н$ по табл. 6 настоящей Инструкции;

Таблица 6

Коэффициенты	Коэффициенты теплоотдачи $\alpha_н$ и $\alpha_в$, ккал/(м²·ч·°С) при температуре наружной поверхности и воздуха, °С										
	0	50	100	200	300	400	500	700	900	1100	1200
$\alpha_н$	7	10	12	17	22	—	—	—	—	—	—
$\alpha_в$	—	10	10	10	12	15	20	40	70	120	150

Примечание. Коэффициенты $\alpha_н$ и $\alpha_в$ для промежуточных значений температур определяются 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.

1.36. Для конструкций, находящихся на воздухе, коэффициент теплоотдачи наружной поверхности $\alpha_н$, ккал/(м²·ч·°С), в зависимости от преобладающей скорости ветра зимой и летом согласно главе СНиП по строительной климатологии и геофизике, следует принимать равным:

при скорости ветра от 1 до 5 м/с — 10;
при скорости ветра от 8 м/с и более — 20.

При скоростях ветра более 5 и менее 8 м/с величина $\alpha_н$ определяется по интерполяции.

Для конструкций, находящихся в помещении или на воздухе, но защищенных от воздействия ветра, коэффициент теплоотдачи наружной поверхности $\alpha_н$ принимается по табл. 6 настоящей Инструкции.

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

1.37. Коэффициент теплопроводности λ бетона в сухом состоянии должен приниматься по табл. 7 настоя-

Таблица 7

Номера составов бетона по табл. 9 настоящей Инструкции	Коэффициент теплопроводности λ, ккал/(м·ч·°С), обычного и жаростойкого бетонов в сухом состоянии при средней температуре, бетона в сечении элемента, °С					
	50	100	300	500	700	900
1	1,3	1,18	0,94	—	—	—
20	2,3	2,09	1,67	1,2	1,05	1,02
21	1,28	1,16	1,18	1,27	1,35	1,4
2, 3, 6, 7, 13	1,3	1,18	1,2	1,3	1,39	—
8, 9, 10, 11	0,8	0,75	0,6	0,62	0,65	0,7
14, 15, 16, 17, 18	0,85	0,82	0,8	0,87	0,98	1,1
19	0,75	0,7	0,57	0,55	0,58	0,62
4, 5	0,6	0,56	0,46	0,48	0,51	—
12	0,65	0,62	0,6	0,67	0,7	—
23	0,37	0,4	0,51	0,63	0,75	—
29	0,43	0,45	0,61	0,68	0,8	0,92
24	0,33	0,35	0,43	0,5	0,58	0,66
27	0,38	0,4	0,53	0,6	0,7	—
22, 25, 26, 28, 30, 31	0,18	0,2	0,26	0,32	0,39	0,46

Примечания: 1. Коэффициент теплопроводности обычного и жаростойкого бетонов с влажностью после естественного твердения и тепловой обработки при атмосферном давлении при средней температуре бетона в сечении элемента до 100° С следует принимать по данным таблицы, увеличенным на 30%.

2. Для промежуточных значений температур величина коэффициента теплопроводности λ определяется по интерполяции.

щей Инструкции в зависимости от средней температуры бетона в сечении элемента. Коэффициент теплопроводности λ огнеупорных и теплоизоляционных материалов должен приниматься по табл. 8 настоящей Инструкции.

1.38. При расчете распределения температуры по толщине конструкции необходимо учитывать различие

Таблица 8

Материалы	Объемный вес в сухом состоянии, кгс/м³	Предельно допустимая температура применения, °С	Коэффициент теплопроводности λ, ккал/(м·ч·°С), огнеупорных и теплоизоляционных материалов в сухом состоянии при средней температуре материала в сечении элемента, °С					
			50	100	300	500	700	900
Огнеупоры								
1. Кирпич шамотный	1900	—	0,63	0,65	0,75	0,9	1	1,1
2. Шамот легковесный	800	—	0,2	0,21	0,27	0,33	0,39	—
3. Кирпич глиняный обыкновенный . .	1700	—	0,44	0,5	0,6	0,7	—	—
Теплоизоляционные материалы								
4. Кирпич диатомовый	500	800	0,11	0,12	0,16	0,2	0,24	—
5. То же	600	800	0,13	0,14	0,18	0,22	0,26	—
6. »	700	800	0,16	0,17	0,21	0,25	0,29	—
7. Маты минераловатные прошивные	100	600	0,042	0,054	0,087	0,122	—	—
8. То же	200	600	0,052	0,061	0,093	0,125	—	—
9. Плиты мягкие и полужесткие минераловатные на битумном связующем	200	600	0,052	—	—	—	—	—
10. Плиты мягкие, полужесткие и жесткие минераловатные на синтетическом связующем	100	130	0,045	0,053	—	—	—	—
11. Плиты из минеральной ваты на крахмальном связующем	200	400	0,05	0,06	0,09	—	—	—
12. Маты и полосы из стеклянного волокна	175	450	0,05	0,06	0,09	0,11	—	—
13. Перлитоцементные изделия	300	600	0,076	0,084	0,116	0,148	—	—
14. Известково-кремнеземистые изделия	200	600	0,059	0,064	0,084	0,104	—	—
15. Пеностекло . . .	200	500	0,075	0,081	0,113	0,145	—	—
16. Перлито-керамические изделия	250	800	0,068	0,076	0,108	0,14	—	—
17. Перлитофосфогелевые изделия . . .	220	600	0,065	0,07	0,1	0,13	—	—

Продолжение табл. 8

Материалы	Объемный вес в сухом состоянии, кгс/м³	Предельно допустимая температура применения, °С	Коэффициент теплопроводности λ, ккал/(м·ч·°С), огнеупорных и теплоизоляционных материалов в сухом состоянии при средней температуре материала в сечении элемента, °С					
			50	100	300	500	700	900
18. Изделия на основе кремнеземного волокна . . .	120	1200	0,055	0,06	0,09	0,12	0,15	0,18
19. Изделия типа каолиновой ваты . .	100	1100—1260	0,04	0,045	0,075	0,105	0,135	0,165
30. Воздушная прослойка (вертикальная) толщиной 50 мм	—	—	0,34	0,50	1,60	3,8	—	—

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

2. Коэффициент теплопроводности λ для промежуточных значений температур определяется по интерполяции.

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%.

1.39. В ребристых конструкциях, когда наружная поверхность бетонных ребер и тепловой изоляции совпадает, расчет температуры в бетоне должен производиться по сечению ребра. Если бетонные ребра выступают за наружную поверхность тепловой изоляции, расчет температуры в бетоне ребра должен производиться методами расчета температурных полей или по соответствующим нормативным документам.

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

Для конструкций, находящихся на открытом воздухе, наибольшие температуры бетона и арматуры определяются при абсолютной максимальной летней температуре наружного воздуха района строительства в соответствии с главой СНиП по строительной климатологии и геофизике. Вычисленные температуры не должны превышать предельно допустимой температуры применения бетона по табл. 9 и арматуры по табл. 17 настоящей Инструкции.

1.41. При расчете статически неопределимых конструкций, работающих в условиях воздействия температур выше 500°С, теплотехнический расчет должен производиться на расчетную температуру рабочего пространства и на температуру, вызывающую наибольшие усилия, определяемые по п. 1.11 настоящей Инструкции.

При расчете наибольших усилий от воздействия температуры в конструкциях, находящихся на открытом воздухе, температура нагрева бетона вычисляется по расчетной зимней температуре наружного воздуха, которая принимается как средняя температура наружного воздуха наиболее холодных суток района строительства, указанной в главе СНиП по строительной климатологии и геофизике.

2. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

БЕТОН

2.1. Для бетонных и железобетонных конструкций, проектируемых для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур, должны предусматриваться обычный и жаростойкий бетоны, составы которых приведены в табл. 9 настоящей Инструкции.

Легкий жаростойкий бетон с объемным весом до 1400 кгс/м^3 следует предусматривать преимущественно для ненесущих ограждающих конструкций и в качестве теплоизоляционных материалов.

Легкий жаростойкий бетон с объемным весом более 1400 кгс/м^3 надлежит предусматривать для несущих конструкций.

2.2. Для конструкций, работающих в условиях воз-

Таблица 9

№№ составов бетона	Виды исходных материалов				Предельно допустимая температура применения бетона, °С, в конструкциях при неравномерном нагреве по высоте сечения, имеющих напряжения сжатия в бетоне от собственного веса и нагрузки		Максимальная проектная марка бетона по прочности на сжатие	Объемный вес бетона естественной влажности, кгс/м³	Дополнительные указания
	вяжущего	отвердителя	тонкомолотой добавки	заполнителей	до 1 кгс/см²	более 1 кгс/см²			
	Обычный бетон								
1	Портландцемент (шлакопортландцемент)	Не применяется	Не применяется	Гранитовые, доломитовые, плотные известняковые, сиенитовые, плотные пески	200	200	М 600	2500	В фундаментах, находящихся в условиях постоянного нагрева, обычный бетон допускается применять при воздействии температур до 300° С
	Жаростойкий бетон								
2	То же	То же	То же	Андезитовые, базальтовые, диабазовые, диоритовые	350	350	М 500	2500	Рекомендуется применять при воздействии температур выше 200°С
3	»	»	»	Из доменных отвальных шлаков	350	350	М 400	2400	—
4	»	»	»	Туфовые, из боя глиняного обыкновенного кирпича	350	350	М 200	1800	—
5	Портландцемент	»	Из золы-уноса, из боя обыкновенного глиняного кирпича, из гранулированного доменного шлака, из вулканического пепла	Туфовые	700	700	М 200	1800	—
6	Портландцемент	Не применяется	То же	Андезитовые, базальтовые, диабазовые, диоритовые	700	700	М 500	2400	—
7	То же	То же	»	Из доменных отвальных шлаков	700	700	М 400	2400	—

Продолжение табл. 9

№ № составов бетона	Виды исходных материалов				Предельно допустимая температура применения бетона, °С, в конструкциях при неравномерном нагреве по высоте сечения, имеющих напряжения сжатия в бетоне от собственного веса и нагрузки		Максимальная проектная марка бетона по прочности на сжатие	Объемный вес бетона естественной влажности, кгс/м³	Дополнительные указания
	вяжущего	отвердителя	тонкомолотой добавки	заполнителей	до 1 кгс/см²	более 1 кгс/см²			
8	Портландцемент	Не применяется	Из топливного (котельного) шлака	Из шлаков топливных (котельных)	800	700	М 200	1800	—
9	»	»	Из боя обыкновенного глиняного кирпича	Из боя обыкновенного глиняного кирпича	900	800	М 200	1900	—
10	»	»	Из золы-уноса	Шамотные кусковые и из боя изделий	1000—1100	900	М 450	2000	
11	»	»	Шамотные	То же	1100—1200	1000	М 450	2000	—

12	Жидкое стекло	Кремнефтористый натрий	»	Из боя глиняного обыкновенного кирпича	600	600	М 250	1900	Воздействие кислой агрессивной среды, пара и воды не допускается
13	То же	То же	Шамотные	Андезитовые, базальтовые, диабазовые	600	600	М 250	2500	Кислотостоек (кроме фтористого водорода): не допускается воздействие пара и воды
14	»	»	Шамотные, полукислые, огнеупорные	Шамотные кусковые и из боя изделий, полукислые кусковые и из боя изделий	900	800	М 250	2100	Кислотостоек (кроме фтористого водорода). При применении для сооружений, в которых наряду с воздействием температур возможно периодическое воздействие пара и воды, элементы необходимо предварительно нагревать до 800° С
15	»	»	Шамотные	Шамотные кусковые и из боя изделий	1000	900	М 250	2100	
16	»	»	Магнезитовые (периклазовые)	То же	1300	1100	М 200	2100	Стоек к расплавам солей натрия к плаву содорегенерационных агрега-

Продолжение табл. 9

№№ составов бетона	Виды исходных материалов				Предельно допустимая температура применения бетона, °С, в конструкциях при неравномерном нагреве по высоте сечения, имеющих напряжения сжатия в бетоне от собственного веса и нагрузки		Максимальная проектная марка бетона по прочности на сжатие	Объемный вес бетона естественной влажности, кгс/м³	Дополнительные указания
	вяжущего	отвердителя	тонкомолотой добавки	заполнителей	до 1 кгс/см²	более 1 кгс/см²			
									тов. Не допускается воздействие пара и воды
17	Жидкое стекло	Нефелиновый шлам или феррохромовый шлак	Шамотные	Шамотные кусковые и из боя изделий	1100	1000	М 200	2100	Стоек в условиях воздействия сернистого газа. Не кислотостоек
18	То же	Нефелиновый шлам или марганцовистый шлак	Магнезитовые (периклазовые)	То же	1300	1100	М 200	2200	Не кислотостоек
19	Глиноземистый цемент	Не применяется	Не применяется	»	1300	1100	М 400	2100	В элементах толщиной более 400 мм при твердении бетона необходимо отводить тепло, чтобы температура в первые сутки не превышала 40° С
20	То же	То же	То же	Хромитовые	1400	1200	М 400	3000	
21	»	»	»	Мулитокремнеземистые кусковые и из боя изделий	1400	1200	М 450	2800	
22	Портландцемент	Не применяется	Шамотные	Вспученный перлит с насыпным объемным весом 200—400 кгс/м³	500 при Мухор-Талинском перлите 800° С	—	М 50	950	—
23	То же	То же	Шамотные, из боя обыкновенного глиняного кирпича, керамзитовые	Керамзитовые с насыпным объемным весом 550—650 кгс/м³	1000	800	М 200	1650	—
24	»	»	То же	То же, 450—550 кгс/м³	1000	800	М 150	1400	—

Продолжение табл. 9

№№ составов бетона	Виды исходных материалов				Предельно допустимая температура применения бетона, °С, в конструкциях при неравномерном нагреве по высоте сечения, имеющих напряжения сжатия в бетоне от собственного веса и нагрузки		Максимальная проектная марка бетона по прочности на сжатие	Объемный вес бетона естественной влажности, кгс/м³	Дополнительные указания
	вяжущего	отвердителя	тонкомолотой добавки	заполнителей	до 1 кгс/см²	более 1 кгс/см²			
25	Портландцемент	Не применяется	Шамотные, из боя обыкновенного глиняного кирпича, из золы-уноса, керамзитовые	Керамзитовые с насыпным объемным весом 350—450 кгс/м³	1000	—	М 50	900	—
26	»	»	То же	Мелкий вспученный вермикулит с насыпным объемным весом не более 150 кгс/м³; крупный вспученный керамзит с насыпным объемным весом 350—450 кгс/м³	1000	—	М 35	1000	—
27	Жидкое стекло	Кремнефтористый натрий	Шамотные	Вспученный керамзит с насыпным объемным весом 500—650 кгс/м³	800	700	М 150	1350	—
28	То же	То же	»	То же, 350—450 кгс/м³	800	—	М 50	900	—
29	»	»	»	То же, 500—650 кгс/м³	900	700	М 200	1650	—
30	»	Нефелиновый шлам или феррохромовый шлак	Шамотные	Вспученный керамзит с насыпным объемным весом 350—450 кгс/м³	1100	—	М 50	900	—
31	Глиноземистый цемент	Не применяется	Не применяется	Вспученный перлит с насыпным объемным весом 400 кгс/м³	1000	—	М 35	950	—

Примечания: 1. Для конструкций, в которых усилия возникают только от воздействия температуры, предельно допустимая температура применения бетона должна приниматься как для конструкций, имеющих напряжения сжатия в бетоне от собственного веса и нагрузки до 1 кгс/см².

2. Для бетона составов № 5, 6, 7, 8 и 9 портландцемент может быть заменен шлакопортландцементом согласно требованиям Инструкции по технологии приготовления жаростойких бетонов.

действия повышенных и высоких температур, должна назначаться проектная марка бетона по прочности на сжатие.

При наличии агрессивной среды должна устанавливаться проектная марка бетона по водонепроницаемости в соответствии с указаниями главы СНиП по защите строительных конструкций от коррозии.

В случае необходимости следует назначать проектные марки бетона по прочности на осевое растяжение, по морозостойкости и по водонепроницаемости по указаниям главы СНиП II-21-75.

2.3. Бетон для конструкций, работающих в условиях систематического воздействия повышенных и высоких температур, следует принимать следующих проектных марок по прочности на сжатие:

обычный бетон — (состав № 1 по табл. 9 настоящей Инструкции) М 50; М 75; М 100; М 150; М 200; М 250; М 300; М 350; М 400; М 450; М 500 и М 600.

при этом проектные марки М 250; М 350 и М 450 должны предусматриваться при условии, что это приводит к экономии цемента по сравнению с применением бетона проектных марок соответственно М 300, М 400, М 500 и не снижает другие технико-экономические показатели конструкций;

жаростойкий бетон (состав по табл. 9 настоящей Инструкции):

№ 2, 3, 6, 7, 13, 20 и 21 — особо тяжелый и тяжелый

М 50; М 75; М 100; М 150; М 200; М 250; М 300; М 350; М 400; М 450 и М 500;

№ 9—12, 14—19 — облегченный

М 25; М 35; М 50; М 100; М 150; М 200; М 250; М 300; М 350; М 400;

№ 4, 5, 8, 22—31 — легкий

М 10; М 15; М 25; М 35; М 50; М 75; М 100; М 150; М 200.

Проектная марка бетона по прочности на сжатие обычного и жаростойкого бетона устанавливается по указаниям государственного стандарта на классификацию бетонов.

2.4. Для железобетонных конструкций из обычного бетона, работающих в условиях воздействия повышенных температур, проектную марку бетона по прочности на сжатие следует принимать по п. 2.5 главы СНиП II-21-75.

Для железобетонных конструкций из тяжелого и облегченного жаростойкого бетона, работающих в условиях воздействия высоких температур, рекомендуется принимать проектную марку бетона:

для сборных несущих элементов — не ниже М 200;

для монолитных конструкций при постоянном нагреве (см. п. 1.4 настоящей Инструкции):

до 500°С — не ниже М 150;
свыше 500°С — не ниже М 200;

при ударных и истирающих воздействиях, а также при циклическом нагреве:

до 500°С — не ниже М 200;
свыше 500°С — не ниже М 250.

Для предварительно-напряженных железобетонных конструкций из обычного и жаростойкого бетонов, работающих в условиях воздействия повышенных и высоких температур, проектная марка бетона по прочности на сжатие должна приниматься в зависимости от вида и класса напрягаемой арматуры, ее диаметра и наличия анкерных устройств по п. 2.6 и табл. 7 главы СНиП II-21-75.

2.5. При неравномерном нагреве бетона по высоте сечения элементов конструкций, в которых напряжения сжатия в бетоне от собственного веса и нагрузки составляют до 1 кгс/см^2 и более, а также элементов конструкций, в которых усилия возникают только от воздействия температуры, предельно допустимая температура применения бетона устанавливается по табл. 9 настоящей Инструкции.

При воздействии температур, превышающих указанные в табл. 9 настоящей Инструкции, надлежит предусматривать устройство защитных слоев (футеровок).

РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА

2.6. Расчетные сопротивления бетона соответственно для предельных состояний первой и второй групп в зависимости от проектной марки бетона по прочности на сжатие принимаются по табл. 13 и 11 главы СНиП II-21-75 для составов (см. табл. 9 настоящей Инструкции):

№ 1—3, 6, 7, 13, 20 и 21 — как для тяжелого бетона;
№ 4, 5, 8—12, 14—19, 22—31 — как для бетона на пористых заполнителях.

Расчетные сопротивления бетона в соответствующих случаях следует умножать на коэффициент условий работы по п. 2.13 главы СНиП II-21-75.

При расчете элементов конструкций, предназначенных для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур, расчетные сопротивления бетона $R_{пр}$ и $R_{прII}$ необходимо дополнительно умножать, кроме того, на коэффициент условий работы бетона при сжатии $m_{б.t}$, а расчетные сопротивления бетона $R_р$ и $R_{рII}$ — на коэффициент условий работы бетона при растяжении $m_{р.t}$. Коэффициенты условий работы бетона при сжатии $m_{б.t}$ и растяжении $m_{р.t}$ принимаются по табл. 10 настоящей Инструкции в зависимости от величины температуры бетона и длительности ее действия.

2.7. Начальный модуль упругости бетона при сжатии и растяжении $E_б$ принимается по табл. 11 настоящей Инструкции.

Коэффициент $\beta_б$, учитывающий снижение модуля упругости обычного и жаростойкого бетона при нагреве, следует принимать по табл. 10 настоящей Инструкции в зависимости от температуры бетона.

2.8. Коэффициент упругости $\bar{\nu}$, характеризующий упругопластическое состояние сжатого бетона, при определении приведенного сечения бетона, а также при расчете сводов и куполов из жаростойкого бетона принимается по табл. 12 настоящей Инструкции в зависимости от температуры и длительности ее воздействия.

Коэффициент упругости ν, характеризующий упругопластическое состояние бетона сжатой зоны при расчете деформаций и закладных деталей, принимается по табл. 13 настоящей Инструкции в зависимости от температуры и длительности ее воздействия.

2.9. Коэффициент линейной температурной деформации бетона $\alpha_{бt}$ в зависимости от температуры бетона должен приниматься по табл. 14 настоящей Инструкции. Коэффициент $\alpha_{бt}$ определен с учетом температурной усадки бетона при кратковременном и длительном нагреве бетона. При необходимости определения температурного расширения бетона при повторном воздействии температуры после кратковременного или длительного нагрева к коэффициенту линейной температурной деформации $\alpha_{бt}$ следует прибавить коэффициент температурной усадки бетона $\alpha_у$ соответственно для кратковременного или длительного нагрева.

Таблица 10

Номера составов бетона по табл. 9 настоящей Инструкции	Обозначение коэффициента	Расчет на нагрев	Коэффициенты условий работы бетона при сжатии $m_{бt}$ и растяжении m_{pt}, коэффициент $\beta_б$ при температуре бетона, °С									
			50	70	100	200	300	500	700	900	1000	1100
1, 2	$m_{бt}$	Кратковременный . .	1	0,85	0,9	0,8	0,65	—	—	—	—	—
		Длительный	1	0,85	0,9	0,8	0,5	—	—	—	—	—
	m_{pt}	Кратковременный . .	1	0,7	0,7	0,6	0,4	—	—	—	—	—
		Длительный	1	0,7	0,7	0,5	0,2	—	—	—	—	—
	$\beta_б$	Кратковременный и длительный . . .	1	0,9	0,8	0,6	0,4	—	—	—	—	—
3, 4	$m_{бt}$	Кратковременный . .	1	1	1	0,9	0,8	—	—	—	—	—
		Длительный	1	1	1	0,9	0,65	—	—	—	—	—
	m_{pt}	Кратковременный . .	1	0,8	0,75	0,65	0,5	—	—	—	—	—
		Длительный	1	0.8	0,75	0,6	0,35	—	—	—	—	—
	$\beta_б$	Кратковременный и длительный . . .	1	1	0,9	0,8	0,6	—	—	—	—	—
5—11, 22—26	$m_{бt}$	Кратковременный . .	1	1	1	1,1	1	0,9	0,6	0,3	0,2	0,1
		Длительный	1	1	1	1	0,7	0,4	0,2	0,06	0,01	—

Продолжение табл. 10

Номера составов бетона по табл. 9 настоящей Инструкции	Обозначение коэффициента	Расчет на нагрев	Коэффициенты условий работы бетона при сжатии $m_{бt}$ и растяжении m_{pt}, коэффициент $\beta_б$ при температуре бетона, °С									
			50	70	100	200	300	500	700	900	1000	1100
5—11, 22—26	m_{pt}	Кратковременный . .	1	0,85	0,8	0,65	0,6	0,5	0,4	0,2	—	—
		Длительный	1	0,85	0,8	0,65	0,4	0,2	0,06	—	—	—
	$\beta_б$	Кратковременный и длительный . . .	1	1	1	0,9	0,75	0,5	0,32	0,22	0,18	0,15
12—15, 17, 27—30	$m_{бt}$	Кратковременный . .	1	1	1,1	1,2	1,2	1	0,75	0,4	0,2	—
		Длительный	1	0,8	0,8	0,55	0,35	0,15	0,05	0,01	—	—
	m_{pt}	Кратковременный . .	1	0,95	0,95	0,8	0,7	0,55	0,45	0,15	—	—
		Длительный	1	0,7	0,7	0,45	0,25	0,06	—	—	—	—
	$\beta_б$	Кратковременный и длительный . . .	1	1,1	1,1	1,1	1	0,7	0,3	0,1	0,05	—
16, 18	$m_{бt}$	Кратковременный . .	1	1	1	1	1	0,95	0,85	0,65	0,5	0,35
		Длительный	1	0,9	0,9	0,8	0,5	0,25	0,07	0,02	0,01	—
	m_{pt}	Кратковременный . .	1	0,95	0,95	0,8	0,7	0,55	0,45	0,35	—	—
		Длительный	1	0,8	0,8	0,7	0,4	0,12	0,02	—	—	—
	$\beta_б$	Кратковременный и длительный . . .	1	1,1	1,1	1,1	1,1	1	0,7	0,35	0,27	0,2

Продолжение табл. 10

Номера составов бетона по табл. 9 настоящей Инструкции	Обозначение коэффициента	Расчет на нагрев	Коэффициенты условий работы бетона при сжатии $m_{бt}$ и растяжении m_{pt}, коэффициент $\beta_б$ при температуре бетона, °С									
			50	70	100	200	300	500	700	900	1000	1100
19, 20, 21, 31	$m_{бt}$	Кратковременный . .	1	0,9	0,8	0,7	0,55	0,45	0,35	0,3	0,25	0,2
		Длительный	1	0,9	0,8	0,7	0,5	0,25	0,1	0,05	0,02	—
	m_{pt}	Кратковременный . .	1	0,65	0,55	0,5	0,45	0,35	0,25	0,1	—	—
		Длительный	1	0,65	0,55	0,5	0,3	0,12	0,02	—	—	—
	$\beta_б$	Кратковременный и длительный . . .	1	0,9	0,85	0,7	0,55	0,4	0,33	0,3	0,27	0,2

Примечания: 1. При расчете на длительный нагрев несущих конструкций, срок службы которых не превышает 5 лет, коэффициент $m_{бt}$ следует увеличить на 15%, но он не должен превышать величины $m_{бt}$ при расчете на кратковременный нагрев.

2. Для конструкций, которые во время эксплуатации подвергаются циклическому нагреву, коэффициенты $m_{бt}$ и $\beta_б$ следует снизить на 15% и коэффициент m_{pt} — на 20%.

3. Коэффициенты $m_{бt}$, m_{pt} и $\beta_б$ для промежуточных значений температур определяются интерполяцией.

Таблица 11

Номера составов бетона по табл. 9 настоящей Инструкции	Начальные модули упругости бетона при сжатии и растяжении $E_б \cdot 10^{-3}$, кгс/см², при проектной марке бетона по прочности на сжатие													
	М 25	М 35	М 50	М 75	М 100	М 150	М 200	М 250	М 300	М 350	М 400	М 450	М 500	М 600
1—3, 6, 7, 13, 20, 21 естественного твердения	—	—	—	—	170	210	240	265	290	310	330	345	360	380
Подвергнутого тепловой обработке при атмосферном давлении	—	—	—	—	155	190	215	240	260	280	300	310	325	340
25, 28,30	30	35	40	50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
22, 26, 31	40	45	50	60	65	—	—	—	—	—	—	—	—	—
24, 27	—	—	75	85	95	105	115	125	135	—	—	—	—	—
4, 5, 8—12, 23, 29	—	—	—	110	120	135	150	165	175	185	190	—	—	—
14—19	—	—	—	—	—	170	185	200	215	225	235	—	—	—

Таблица 12

Номера составов бетона по табл. 9 настоящей Инструкции	Расчет на нагрев	Коэффициент упругости $\overline{\nu}$ обычного и жаростойкого бетонов при температуре бетона, °С								
		50	70	100	200	300	500	700	900	1000
1—4	Кратковременный	0,85	0,65	0,7	0,7	0,65	—	—	—	—
	Длительный	0,25	0,25	0,25	0,25	0,2	—	—	—	—
5—11, 23, 24	Кратковременный	0,85	0,8	0,8	0,75	0,7	0,53	0,32	0,15	0,05
	Длительный	0,24	0,24	0,24	0,22	0,21	0,07	0,03	0,01	—
12—18, 27, 29	Кратковременный	0,8	0,8	0,7	0,65	0,5	0,35	0,3	0,1	—
	Длительный	0,2	0,2	0,2	0,2	0,06	0,015	—	—	—
19—21	Кратковременный	0,85	0,8	0,75	0,6	0,55	0,45	0,35	0,2	0,15
	Длительный	0,3	0,3	0,27	0,25	0,23	0,03	0,02	0,01	—

Примечания: 1. При расчете на длительный нагрев при температуре бетона выше 50 до 200°С и средней относительной влажности воздуха до 40% коэффициент $\overline{\nu}$ принимается равным 0,2.

2. Коэффициент $\overline{\nu}$ для промежуточных значений температур определяется по интерполяции.

Таблица 13

Номера составов бетона по табл. 9 настоящей Инструкции	Расчет на нагрев	Коэффициент ν при температуре бетона, °С							
		50	70	100	200	300	500	700	900
1—4	Кратковременный Длительный	0,45 0,15	0,4 0,15	0,45 0,15	0,45 0,15	0,35 0,1	— —	— —	— —
5—11, 23, 24	Кратковременный Длительный	0,45 0,15	0,43 0,15	0,43 0,15	0,4 0,1	0,37 0,09	0,28 0,07	0,2 0,05	0,1 0,02
12—18, 27, 29	Кратковременный Длительный	0,45 0,13	0,43 0,13	0,38 0,13	0,35 0,1	0,28 0,03	0,2 0,02	0,17 —	0,07 —
19—21	Кратковременный Длительный	0,45 0,15	0,43 0,15	0,4 0,13	0,33 0,13	0,3 0,1	0,25 0,03	0,2 0,03	0,15 0,02

Примечания: 1. При расчете на длительный нагрев при температуре бетона выше 50 до 200°С и средней относительной влажности воздуха до 40% коэффициент ν принимается равным 0,1.

2. Коэффициент ν для промежуточных значений температур определяется по интерполяции.

Таблица 14

Номера составов бетона по табл. 9 настоящей Инструкции	Расчет на нагрев	Коэффициент линейной температурной деформации бетона $\alpha_{бt} \cdot 10^{-6}$, $град^{-1}$ при температуре бетона, °С								
		50		100	200	300	500	700	900	1100
		влажность воздуха до 40%	влажность воздуха более 40%							
1	Кратковременный	10	10	10	9,5	9	—	—	—	—
	Длительный	2	6	7,5	8	7,8	—	—	—	—
2, 6	Кратковременный	9	9	9	8	7	6	6	—	—
	Длительный	1	5	6	6,5	5,8	—	—	—	—
3, 7	Кратковременный	8,5	8,5	8,5	7,5	7	5,5	4,5	4	3
	Длительный	0,5	4,5	5,5	6	5,8	—	—	—	—
8	Кратковременный	9	9	9	8	7	6	6	—	—
	Длительный	7	7	7	6,5	5,5	4,5	4,6	—	—
4, 5, 9—11, 23, 24	Кратковременный	8,5	8,5	8,5	7,5	7	5,5	4,5	4	3
	Длительный	6,5	6,5	6,5	6	5,5	4	3,1	1,7	—0,2
12—18, 27, 29	Кратковременный	5	5	5	5,5	6	7	6,5	6	5
	Длительный	—7,5	—4,5	0	3	4,3	6	5,8	5,4	4,4
19—21	Кратковременный	8	8	8	7	6,5	5,5	4,5	4	3,5
	Длительный	—1	3	4,5	5,2	5,2	4,7	3,6	3,1	2,6

Примечания: 1. Коэффициент $\alpha_{бt}$ для промежуточных значений температур определяется по интерполяции.

2. Для бетонов состава № 1 с карбонатным щебнем (доломит, известняк) коэффициент $\alpha_{бt}$ увеличивается на $1 \cdot 10^{-6}$, $град^{-1}$.

3. Влажность воздуха принимается по п. 1.3 главы СНиП II-21-75.

Таблица 15

Номера составов бетона по табл. 9 настоящей Инструкции	Расчет на нагрев	Коэффициент температурной усадки бетона $\alpha_y \cdot 10^{-6}$, $град^{-1}$ при температуре бетона, °С								
		50		100	200	300	500	700	900	1100
		влажность воздуха до 40%	влажность воздуха более 40%							
1—4	Кратковременный	1	0,5	1,5	1,1	1,3	—	—	—	—
	Длительный	9	4,5	4,5	2,6	2,5	—	—	—	—
5—11, 23, 24	Кратковременный	2	1	2	1,5	1,5	1,5	1,4	2,3	3,2
	Длительный	12	6	6	3,5	2,8	2,5	2,4	3,2	4,1
12—18, 27, 29	Кратковременный	4	2	3	2,5	2	1,3	1	0,8	0,7
	Длительный	16	11	8	5	3,7	2,3	1,7	1,4	1,2
19—21	Кратковременный	1	0,5	2	1,5	1,3	1,4	1,6	2,1	2,3
	Длительный	10	5,5	5,5	3,25	2,6	2,2	2,5	3	3,2

Примечания: 1. Коэффициент α_y для промежуточных значений температур определяется по интерполяции.
2. Влажность воздуха принимается по п. 1.3 главы СНиП II-21-75.

Коэффициент температурной усадки бетона α_y принимается по табл. 15 настоящей Инструкции.

Коэффициент температурной усадки бетона принят:

при кратковременном нагреве для подъема температуры более 10°С в 1 ч;

при длительном нагреве для подъема температуры менее 0,5°С в 1 ч, а также для длительного нагрева во время эксплуатации.

2.10. Объемный вес бетона естественной влажности принимается по табл. 9 настоящей Инструкции. Объемный вес бетона в сухом состоянии при его нагреве выше 100°С уменьшают на 150 кгс/м³.

Объемный вес железобетона (при $\mu \leqslant 3\%$) принимается на 100 кгс/м³ больше объемного веса 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 работы бетона $m_{б2t}$, принимаемый по табл. 16 настоящей Инструкции.

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 $m_{б2t}$ при многократно повторяющейся нагрузке
50	0,8
70	0,6
90	0,4
110	0,2

Примечание. Величины $m_{б2t}$ для промежуточных значений температур определяются по интерполяции.

АРМАТУРА

2.12. Для армирования железобетонных конструкций, работающих при воздействии повышенной и высокой

Таблица 17

Вид, класс арматуры и марки стали проката	Предельно допустимая температура, °С, применения арматуры и проката, установленных в железобетонных конструкциях	
	по расчету	по конструктивным соображениям
1. Стержневая арматура классов:		
А-I и А-II	400	450
А-III	450	500
А-IV, А-V, Ат-IV, Ат-V и Ат-VI:		
ненапрягаемая	450	—
напрягаемая	250	—
2. Проволочная арматура классов:		
В-I и Вр-I	400	450
В-II, Вр-II и К-7	150	—
3. Прокат из стали марок ВСт3кп2 и ВСт3сп5	400	450
4. Стержневая арматура и прокат из стали марок:		
30ХМ, 12Х13 и 20Х13	500	700
20Х23Н18	550	1000
12Х18Н9Т и 45Х14Н14В2М	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 превышать 100°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 табл. 19 и 22 главы СНиП II-21-75.

4. Для конструктивной арматуры при температурах ее нагрева до 800°С допускается применять жаростойкую сталь марки 08Х17Т по ГОСТ 5632—72** и ГОСТ 5949—61*.

температур, должна приниматься арматура по пп. 2.18—2.31 главы СНиП II-21-75.

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, 12Х18Н9Т, 20Х23Н18 и 45Х14Н14В2М по ГОСТ 5632—72** и ГОСТ 5949—61*.

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

РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АРМАТУРЫ

2.13. Расчетные сопротивления арматуры для основных видов стержневой и проволочной арматуры для предельных состояний первой и второй групп в зависимости от вида и класса арматуры принимаются по табл. 19, 20, 21, 22 главы СНиП II-21-75.

Расчетные сопротивления арматуры из жаростойкой стали для предельных состояний первой и второй групп принимаются по табл. 18 и 19 настоящей Инструкции,

Таблица 18

Арматура и прокат из стали марки	Нормативные сопротивления растяжению $R_a^н$ и расчетные сопротивления растяжению для предельных состояний второй группы $R_{a\,II}$, кгс/см²	Модуль упругости E_a, кгс/см²
30ХМ	6000	2100000
12Х13	4200	2200000
20Х13	4500	2200000
20Х23Н18	2000	2000000
12Х18Н9Т	2000	2000000
45Х14Н14В2М	3200	2000000

которые определены путем деления соответствующих нормативных сопротивлений на коэффициент безопасности по арматуре k_a, принимаемый для предельных состояний:

первой группы — 1,5;
второй группы — 1.

Расчетное сопротивление арматуры в соответствующих случаях следует умножать на коэффициент условий работы арматуры по п. 2.28 главы СНиП II-21-75.

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 m_{at}, принимаемый по табл. 20

Таблица 19

Арматура и прокат из стали марки	Расчетные сопротивления арматуры для предельных состояний первой группы, кгс/см²		
	растяжению		сжатию $R_{а.с}$
	продольной; поперечной (хомутов и отогнутых стержней) при расчете наклонных сечений на действие изгибающего момента $R_а$	поперечной (хомутов и отогнутых стержней) при расчете наклонных сечений на действие поперечной силы $R_{а.х}$	
30ХМ	4000	—	—
12Х13	2800	2250	2800
20Х13	3000	2400	3000
20Х23Н18	1350	1100	1350
12Х18Н9Т	1350	1100	1350
45Х14Н14В2М	2100	1700	2100

настоящей Инструкции в зависимости от величины температуры арматуры и длительности нагрева.

2.14. Модуль упругости арматуры $E_а$ для основных видов стержневой и проволочной арматуры принимается по табл. 29 главы СНиП II-21-75 и для арматуры и проката из жаростойкой стали — по табл. 18 настоящей Инструкции. Коэффициент $\beta_а$, учитывающий снижение модуля упругости арматуры при нагреве, должен приниматься по табл. 20 настоящей Инструкции в зависимости от температуры арматуры и проката.

2.15. Коэффициент линейного температурного расширения арматуры α_{at} следует принимать по табл. 20 настоящей Инструкции.

В железобетонных элементах, имеющих трещины в растянутой зоне сечения, коэффициент температурного расширения арматуры в бетоне α_{atc} определяется по формуле

$$\alpha_{atc} = \alpha_{бt} + (\alpha_{at} - \alpha_{бt})\, k, \qquad (41)$$

где $\alpha_{бt}$, α_{at} — коэффициенты, принимаемые по табл. 14 и 20 настоящей Инструкции в зависимости от температуры нагрева бетона на уровне арматуры;

k — коэффициент, принимаемый по табл. 21 настоящей Инструкции в зависимости от процента армирования сечения продольной растянутой арматурой.

Таблица 20

Вид и класс арматуры, жаростойкая арматура, прокат из стали марки	Обозначение коэффициента	Расчет на нагрев	Коэффициенты условий работы арматуры $m_{a\,t}$, линейного температурного расширения арматуры α_{at} и β_a при температуре арматуры, °С						
			50	100	200	300	400	500	600
A-I, A-II, B-I, Bp-I, B-II, Bp-II, K-7, ВСт3-кп2; ВСт3сп5	$m_{a\,t}$	Кратковременный	1	0,95	0,9	0,76	0,6	—	—
		Длительный	1	0,95	0,85	0,65	0,35	—	—
	$\alpha_{a\,t}$	Кратковременный и длительный	11,5	11,7	12,5	13	13,5	—	—
A-III, A-IV, A-V, Ат-IV, Ат-V, Ат-VI	$m_{a\,t}$	Кратковременный	1	1	0,95	0,85	0,75	0,6	—
		Длительный	1	1	0,9	0,75	0,5	0,45	—
	$\alpha_{a\,t}$	Кратковременный и длительный	11,5	12	13	13,5	14	14,5	—
30ХМ	$m_{a\,t}$	Кратковременный	1	0,95	0,9	0,85	0,77	0,73	—
		Длительный	1	0,95	0,9	0,8	0,25	0,08	—
	$\alpha_{a\,t}$	Кратковременный и длительный	9,2	9,5	10,2	10,7	11,2	11,7	—
12Х13 20Х13	$m_{a\,t}$	Кратковременный	1	0,97	0,93	0,86	0,8	0,65	—
		Длительный	1	0,97	0,93	0,84	0,7	0,13	—
	$\alpha_{a\,t}$	Кратковременный и длительный	11,5	12	12,6	13,3	14	14,7	—

Продолжение табл. 20

Вид и класс арматуры, жаростойкая арматура, прокат из стали марки	Обозначение коэффициента	Расчет на нагрев	Коэффициенты условий работы арматуры $m_{a\,t}$, линейного температурного расширения арматуры $\alpha_{a.t}$ и β_a при температуре арматуры, °С						
			50	100	200	300	400	500	600
20Х23Н18	$m_{a\,t}$	Кратковременный	1	1	0,97	0,95	0,92	0,85	0,75
		Длительный	1	1	0,97	0,93	0,77	0,3	0,08
	$\alpha_{a\,t}$	Кратковременный и длительный . .	9,3	10,3	11,3	12,4	13,6	14,7	15,8
12Х18Н9Т	m_{at}	Кратковременный	1	0,83	0,72	0,65	0,62	0,58	0,56
		Длительный	1	0,83	0,72	0,65	0,6	0,55	0,4
	$\alpha_{a\,t}$	Кратковременный и длительный . .	10,5	10,8	11,1	11,4	11,7	12	12,3
45Х14Н14В2М	$m_{a\,t}$	Кратковременный	1	0,93	0,86	0,78	0,72	0,64	0,56
		Длительный	1	0,93	0,86	0,78	0,7	0,55	0,3
	$\alpha_{a\,t}$	Кратковременный и длительный . .	10,5	10,8	11,1	11,4	11,7	12	12,3
Все классы арматуры и марки сталей, указанные в табл. 20	β_a	Кратковременный и длительный . .	1	1	0,96	0,92	0,88	0,84	0,73

Примечания: 1. Коэффициент линейного температурного расширения арматуры равен числовому значению, умноженному на 10^{-6} $град^{-1}$.

2. При расчете на длительный нагрев несущих конструкций, срок службы которых не превышает 5 лет, коэффициент m_{at} следует увеличить на 20%, при этом величина m_{at} должна быть не более чем при кратковременном нагреве.

3. Коэффициенты m_{at}, α_{at} и β_a для промежуточных значений температур определяются по интерполяции.

Таблица 21

Отношение момента M_1 при расчете по предельному состоянию второй группы к моменту M при расчете по предельному состоянию первой группы	Коэффициент k при проценте армирования сечения продольной арматурой				
	0,2	0,4	0,7	1	2 и более
$\frac{M_1}{M} = 1$	0,9	0,95	1	1	1
$\frac{M_1}{M} = 0,7$	0,75	0,9	0,95	1	1
$\frac{M_1}{M} = 0,2$	0,2	0,55	0,7	0,8	0,95

Примечание. Коэффициент k для промежуточных значений отношения моментов $\frac{M_1}{M}$ 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 m_{alt}, принимаемый при температуре арматуры:

до 100°С — 1;
150°С — 0,8;
200°С — 0,65.

Для промежуточных значений температур коэффициент m_{alt} определяется по интерполяции.

2.17. При расчете кривизн железобетонных элементов на участках с трещинами в растянутой зоне бетона,

Таблица 22

Температура арматуры, °С	Коэффициент ν_a при расчете на нагрев	
	кратковременный	длительный
50—200	1	1
300	0,9	0,6
400	0,7	0,3

Примечание. Коэффициент ν_a для промежуточных значений температур принимается по интерполяции.

работающих в условиях воздействия высоких температур, необходимо учитывать упругопластические свойства арматуры. Коэффициент упругости арматуры ν_a, характеризующий упругопластические свойства растянутой арматуры, следует принимать по табл. 22 настоящей Инструкции в зависимости от величины температуры арматуры и длительности нагрева.

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 пп. 3.1—3.8 главы СНиП II-21-75 с учетом дополнительных требований настоящей Инструкции.

При расчете бетонных элементов на действие сжимающей продольной силы следует учитывать деформации от неравномерного нагрева бетона по высоте сечения, определяемые по пп. 1.28—1.32 и 4.16 настоящей Инструкции, суммируя их с эксцентрицитетом продольной силы. Если деформации от нагрева уменьшают эксцентрицитет продольной силы, то учет их не производится.

Внецентренно-сжатые элементы

3.2. Расчет внецентренно-сжатых бетонных элементов, подвергающихся равномерному нагреву и неравномерному нагреву по высоте сечения с температурой бетона наиболее нагретой грани до 400°С, необходимо выполнять из условия (17) главы СНиП II-21-75, в котором расчетное сопротивление бетона $R_{пр}$ следует дополнительно умножать на коэффициент условий работы бетона m_{6t}, принимаемый по табл. 10 настоящей Инструкции в зависимости от средней температуры бетона сжатой зоны сечения. Коэффициент k принимается равным 1.

Для элементов прямоугольного сечения площадь сечения сжатой зоны бетона $F_б$ следует определять по формуле (18) главы СНиП II-21-75.

При неравномерном нагреве по высоте сечения с температурой бетона наиболее нагретой грани более 400°С расчет внецентренно-сжатых элементов следует производить с учетом прочности частей сечения, нагретых до температур более и менее 400°С, и дополнительных указаний п. 1.16 настоящей Инструкции.

Проверка прочности внецентренно-сжатых бетонных элементов с учетом сопротивления бетона растянутой зоны должна производиться из условия (19) главы СНиП II-21-75, в котором расчетное сопротивление бетона $R_р$ следует дополнительно умножать на коэффициент условий работы бетона $m_{рt}$, принимаемый по табл. 10 настоящей Инструкции:

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 необходимо учитывать напряжения растяжения в бетоне $\sigma_{рt}$, определяемые по формуле (31) настоящей Инструкции, вызванные нелинейным распределением температуры бетона по высоте сечения элемента.

Наибольшая температура бетона сжатой зоны сечения элементов не должна превышать предельно допустимой температуры применения бетона, указанной в табл. 9 и п. 1.15 настоящей Инструкции.

Если наибольшая температура бетона сжатой зоны превышает указанную величину, допускается рассчитывать сечение с неполной высотой, при которой наибольшая температура бетона сжатой зоны должна быть не выше этой величины.

Коэффициент η, входящий в формулы (18) и (19) главы СНиП II-21-75, находится по формулам (24) и (25) той же главы СНиП, принимая момент инерции сечения J равным $J_п$, который определяется по п. 1.16 настоящей Инструкции.

В формуле (27) главы СНиП II-21-75 расчетное сопротивление бетона $R_{пр}$ следует дополнительно умножать на коэффициент условий работы бетона $m_{бt}$, принимаемый по табл. 10 настоящей Инструкции в зависимости от температуры бетона в центре тяжести сечения.

Коэффициент β в формуле (26) главы СНиП II-21-75 должен приниматься в зависимости от температуры бетона в центре тяжести сечения по табл. 23 настоящей Инструкции.

Таблица 23

Номера составов бетона по табл. 9 настоящей Инструкции	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	—	—	—
6—11, 23, 24	1,6	1,6	1,8	1,9	6,7	16	—
12—18, 27, 29	1,5	1,5	2	8	33	—	—
19—21	1,2	1,4	1,5	2	16	25	50

Примечание. Коэффициент β для промежуточных значений температур определяется по интерполяции.

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 собственного веса и под ними исключается возможность нахождения людей и оборудования.

Расчет изгибаемых бетонных элементов должен производиться из условия (28) главы СНиП II-21-75, в котором коэффициент k для бетона составов № 1—21, 23, 24, 27, 29 (см. табл. 9 настоящей Инструкции) принимается равным 1; расчетное сопротивление бетона R_p следует дополнительно умножать на коэффициент условий работы бетона m_{pt}, принимаемый по п. 3.2 настоящей Инструкции.

При этом необходимо учитывать напряжения растяжения σ_{pt} в бетоне по п. 3.2 настоящей Инструкции.

При неравномерном нагреве по высоте сечения с температурой бетона наиболее нагретой грани выше 400°С момент сопротивления сечения W_T следует определять по формуле (21) главы СНиП II-21-75, принимая площадь, статический момент и момент инерции приведенного сечения по п. 1.16 настоящей Инструкции.

3.4. Расчет элементов бетонных конструкций на местное сжатие (смятие) должен производиться по пп. 3.44 и 3.45 главы СНиП II-21-75 и дополнительным указаниям п. 3.16 настоящей Инструкции.

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 должен производиться по пп. 3.10—3.21 и 3.24—3.27 главы СНиП II-21-75 с учетом дополнительных требований пп. 3.6—3.9 настоящей Инструкции.

3.6. Расчетные сопротивления бетона $R_{пр}$ следует принимать с учетом коэффициента условий работы бетона $m_{бt}$, определяемого по табл. 10 настоящей Инструкции:

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 $\xi < \xi_R$ допускается принимать по температуре бетона, расположенного на расстоянии $0{,}2\ h_0$ от сжатой грани сечения. Если $x = \xi_R h_0$ или сечение полностью сжато ($x = h$), коэффициент условий работы бетона $m_{бt}$ допускается принимать в зависимости от температуры бетона, расположенного на расстоянии $0{,}5\ x$ 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 табл. 9 и п. 1.15 настоящей Инструкции. Если температура бетона свесов сжатой полки таврового сечения превышает предельно допустимую температуру применения бетона, то сечение рассчитывается как прямоугольное шириной b без учета свесов

полки. Тавровое сечение допускается рассчитывать с неполной высотой, при которой наибольшая температура свесов полки не превышает предельно допустимую температуру применения бетона. При этом высота оставшейся части полки не должна быть меньше $^1/_{20}$ высоты сечения элемента без учета отброшенной части сечения. Полка, расположенная в растянутой зоне, в расчете не учитывается.

Расчетные сопротивления арматуры R_a и $R_{a.c}$ следует принимать с учетом коэффициента условий работы арматуры m_{at}, определяемого по табл. 20 настоящей Инструкции в зависимости от температуры соответствующей арматуры. При этом температура арматуры не должна превышать предельно допустимой температуры применения арматуры, устанавливаемой по расчету, приведенной в табл. 17 настоящей Инструкции.

3.7. При определении граничного значения относительной высоты сжатой зоны бетона ξ_R по формуле (30) главы СНиП II-21-75 величину ξ_0 следует вычислять по формуле (31) той же главы, принимая коэффициент a равным для бетона составов (см. табл. 9 настоящей Инструкции):

№ 1—3, 6, 7, 13, 20 и 21 — 0,85;
№ 4, 5, 8—12, 14—19, 23, 24 и 29 — 0,8.

В формуле (30) главы СНиП II-21-75 для жаростойкой арматуры, указанной в табл. 19 настоящей Инструкции, следует принимать $\sigma_A = R_a$. Для всех классов арматуры коэффициент условий работы арматуры m_{at} принимается по табл. 20 настоящей Инструкции в зависимости от температуры арматуры.

3.8. При определении условной критической силы $N_{кр}$ по формуле (58) главы СНиП II-21-75 должны учитываться пп. 3.2 и 4.4 настоящей Инструкции.

При расположении арматуры только у одной из граней сечения, вычисляя $N_{кр}$ по формуле (58) главы СНиП II-21-75, принимается $J_a = 0$.

3.9. При расчете центрально-растянутых железобетонных элементов, неравномерно нагретых по высоте сечения, правая часть условия (60) главы СНиП II-21-75 заменяется суммой произведений площади арматуры, расположенной по каждой из сторон сечения, на расчетное сопротивление арматуры R_a и коэффициент условий работы арматуры m_{at}, принимаемый по табл. 20 настоящей Инструкции 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 пп. 3.30—3.37, 3.39 и 3.40 главы СНиП II-21-75 с учетом дополнительных требований пп. 3.11—3.15 настоящей Инструкции.

РАСЧЕТ СЕЧЕНИЙ, НАКЛОННЫХ К ПРОДОЛЬНОЙ ОСИ ЭЛЕМЕНТА, НА ДЕЙСТВИЕ ПОПЕРЕЧНОЙ СИЛЫ

3.11. При расчете элементов на действие поперечной силы должно соблюдаться условие (70) главы СНиП II-21-75, в котором расчетное сопротивление бетона $R_{пр}$ должно дополнительно умножаться на коэффициент условий работы бетона $m_{бt}$, принимаемый по табл. 10 настоящей Инструкции в зависимости от температуры бетона в центре тяжести сечения.

3.12. Расчет элементов на действие поперечной силы не производится, если соблюдается условие (71) главы СНиП II-21-75, в котором расчетное сопротивление бетона $R_р$ должно дополнительно умножаться на коэффициент условий работы бетона $m_{рt}$, определяемый по табл. 10 настоящей Инструкции в зависимости от температуры бетона в центре тяжести сечения, а коэффициент k_1 принимается равным для бетона составов (см. табл. 9 настоящей Инструкции):

№ 1—3, 6, 7, 13, 20 и 21 — 0,6;
№ 4, 5, 8—12, 14—19, 23, 24, 29 — 0,4.

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

расчетное сопротивление арматуры $R_{ах}$ должно дополнительно умножаться на коэффициент условий работы арматуры $m_{аt}$, принимаемый по табл. 20 настоящей Инструкции в зависимости от наибольшей температуры поперечной арматуры в рассматриваемом сечении;

расчетное сопротивление бетона $R_р$ следует дополнительно умножать на коэффициент условий работы бетона $m_{рt}$, принимаемый по табл. 10 настоящей Инструкции в зависимости от средней температуры бетона сжатой зоны. Среднюю температуру бетона сжатой зоны

прямоугольного сечения допускается принимать по температуре бетона, расположенного на расстоянии 0,2 h_0 от сжатой грани сечения.

Коэффициент k_2 следует принимать равным для бетона составов (см. табл. 9 настоящей Инструкции):

№ 1—3, 6, 7, 13, 20 и 21 при средней температуре бетона сжатой зоны сечения:

50 — 200°С	— 2,
800°С и свыше	— 5;

№ 4, 5, 8—12, 14—19, 23, 24 и 29 при средней температуре бетона сжатой зоны сечения:

50 — 200°С	— 1,5,
800°С и свыше	— 4,5.

Для температур между 200 и 800°С коэффициент k_2 принимается по интерполяции.

При воздействии температуры, превышающей предельно допустимую температуру применения арматуры, установленной по расчету (табл. 17 настоящей Инструкции), допускается принимать поперечную арматуру, укороченную по высоте сечения элемента. Минимально допустимая длина хомутов устанавливается не менее 2/3 h_0 (рис. 4).

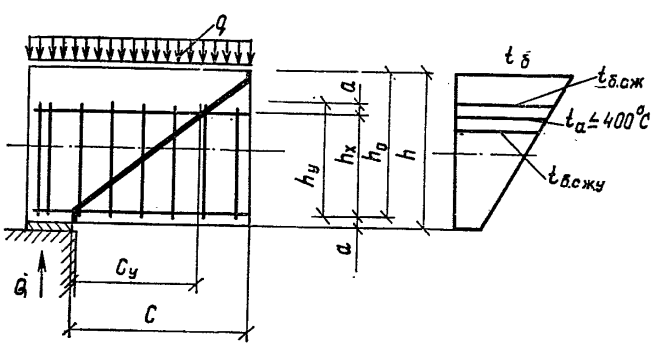


Рис. 4. Схема наклонного сечения железобетонного элемента с укороченными по высоте сечения хомутами

c — проекция расчетного наклонного сечения элемента высотой h_0; c_y — проекция расчетного наклонного сечения элемента с условной укороченной высотой $h_y = h_x + a$

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

$$Q_{x.б} = 2\sqrt{k_2 R_p m_{pt} b h_0^2 q_x} - c_0 q_x \frac{(h_0 - h_x)}{h_0}, \qquad (42)$$

$$c_0 = \sqrt{\frac{k_2 R_p m_{pt} b h_0^2}{q_x}},$$

где q_x — определяется по формуле (77) главы СНиП II-21-75.

Сечение элемента с укороченной поперечной арматурой необходимо проверить по формуле (76) главы СНиП II-21-75, в которой вместо h_0 принимается условная рабочая высота сечения изгибаемого элемента h_y, равная длине хомутов и толщине защитного слоя бетона у менее нагретой грани $h_y = h_x + a$ (рис. 4). При этой проверке расчетное сопротивление бетона R_p следует дополнительно умножать на коэффициент условий работы бетона m_{pt}, принимаемый по табл. 10 настоящей Инструкции в зависимости от средней температуры бетона условной 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 (42) настоящей Инструкции или по формуле (76) главы СНиП II-21-75 для элемента с условной высотой.

3.14. При расчете на действие поперечной силы изгибаемых элементов без поперечной арматуры из условия (80) главы СНиП II-21-75 и коротких консолей из условия (81) главы СНиП II-21-75 расчетное сопротивление бетона R_p следует дополнительно умножать на коэффициент условий работы бетона m_{pt}, определяемый по табл. 10 настоящей Инструкции в зависимости от средней температуры бетона сжатой зоны сечения. Коэффициент k_3 принимается равным для бетона составов (см. табл. 9 настоящей Инструкции):

№ 1,3, 6,7, 13, 20 и 21 при средней температуре бетона сжатой зоны сечения

50—200°С — 1,2;

800°С и выше — 3;

№ 4, 5, 8—12, 14—19, 23, 24 и 29 при средней температуре бетона сжатой зоны сечения

50—200°С — 0,8;

800°С и выше — 2.

Для температур между 200 и 800°С коэффициент k_3 принимается по интерполяции.

РАСЧЕТ СЕЧЕНИЙ, НАКЛОННЫХ К ПРОДОЛЬНОЙ ОСИ ЭЛЕМЕНТА, НА ДЕЙСТВИЕ ИЗГИБАЮЩЕГО МОМЕНТА

3.15. Расчет на действие изгибающего момента должен производиться из условия (84) главы СНиП II-21-75, в котором расчетные сопротивления арматуры R_a следует дополнительно умножать на коэффициент условий работы арматуры m_{at}, принимаемый по табл. 20 настоящей Инструкции в зависимости от наибольшей температуры хомутов и отогнутых стержней.

Расчет на местное действие нагрузок

3.16. Расчет на местное сжатие (смятие) элементов без косвенного армирования должен производиться из условия (96) главы СНиП II-21-75. Коэффициент $\mu_{см}$ при неравномерном распределении местной нагрузки под концами балок, прогонов, перемычек для бетона составов № 1—21, 23, 24 и 29 (см. табл. 9 настоящей Инструкции) принимается равным 0,75. При определении расчетного сопротивления бетона смятию $R_{см}$ по формуле (97) главы СНиП II-21-75 расчетное сопротивление бетона $R_{пр}$ следует дополнительно умножать на коэффициент условий работы бетона $m_{бt}$, принимаемый по табл. 10 настоящей Инструкции в зависимости от средней температуры бетона площади смятия. При схеме приложения нагрузки по рис. 15, *а, в, г, е, и* главы СНиП II-21-75 коэффициент $\gamma_б$ должен приниматься не более 2,5.

3.17. При расчете на продавливание по п. 3.47 главы СНиП II-21-75:

расчетное сопротивление бетона $R_р$ следует дополнительно умножать на коэффициент условий работы бетона $m_{рt}$, принимаемый по табл. 10 настоящей Инструкции в зависимости от средней температуры бетона на проверяемом участке;

расчетное сопротивление арматуры $R_{а.х}$ должно приниматься по п. 3.13 настоящей Инструкции;

коэффициент k должен приниматься для бетона составов (см. табл. 9 настоящей Инструкции):

№ 1—3, 6, 7, 13, 20 и 21 — 1;
№ 4, 5, 8—12, 14—19, 23, 24 и 29 — 0,8.

3.18. При расчете на отрыв растянутой зоны элемента из условия (105) главы СНиП II-21-75 расчетное сопротивление арматуры R_a следует дополнительно умножать на коэффициент условий работы арматуры m_{at}, принимаемый по табл. 20 настоящей Инструкции в зависимости от наибольшей температуры дополнительной арматуры $F_{x.д}$.

РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ВЫНОСЛИВОСТЬ

3.19. Расчет железобетонных элементов на выносливость при воздействии температур выше 50°С должен производиться по пп. 3.52—3.54 главы СНиП II-21-75 с учетом дополнительных требований:

расчетные сопротивления бетона и арматуры дополнительно умножаются на коэффициенты условий работы бетона $m_{б2t}$ и арматуры m_{a1t}, принимаемые по пп. 2.11 и 2.16 настоящей Инструкции;

коэффициент приведения арматуры к бетону n' (см. п. 3.52 главы СНиП II-21-75) умножается на отношение $\frac{\beta_a}{\beta_б}$. Коэффициент β_a принимается по табл. 20 настоящей Инструкции в зависимости от температуры арматуры;

коэффициент $\beta_б$ — по табл. 10 настоящей Инструкции 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 про-

дольной оси, при образовании трещин следует определять исходя из п. 4.2 главы СНиП II-21-75. При этом расчетное сопротивление бетона $R_{рп}$ следует дополнительно умножать на коэффициент условий работы бетона m_{pt}, а модуль упругости бетона $E_б$ — на коэффициент $\beta_б$. Коэффициенты $m_{р.t}$ и $\beta_б$ принимаются по табл. 10 настоящей Инструкции в зависимости от температуры бетона на уровне растянутой арматуры.

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

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

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

4.3. Расчет образования трещин в элементах статически определимых конструкций производится из условия, что растягивающие напряжения бетона, вызванные воздействием температуры, определяемые по формуле (31) настоящей Инструкции, равны или меньше величины расчетного сопротивления бетона $R_{рп}$, умноженного дополнительно на коэффициент условий работы бетона m_{pt}, принимаемый по табл. 10 настоящей Инструкции в зависимости от температуры волокна бетона, для которого определяются напряжения.

Расчет железобетонных элементов, подвергающихся совместному воздействию нагрузки и температуры, по образованию трещин должен производиться по пп. 4.4—4.5 главы СНиП II-21-75, с учетом следующих указаний настоящего пункта.

В формулах (118) и (120) главы СНиП II-21-75 вместо $R_{рп}$ вводится выражение $R_{рп}m_{pt} \pm \sigma_{pt}$, а коэффициент n определяется по формуле (48) настоящей Инструкции. Коэффициент условий работы бетона m_{pt} принимается по табл. 10 настоящей Инструкции в зависимости от температуры бетона на уровне растянутой арматуры. Напряжения σ_{pt} в бетоне, вызванные воздействием температуры, определяются по формуле (31) настоящей Инструкции.

При расчете элементов статически неопределимых

конструкций — по формуле (119) главы СНиП II-21-75, вместо $M_{в}^{я}$ вводится выражение $M_{в}^{я} \pm M_t$. Значение момента M_t, вызванного воздействием температуры, определяется по п. 1.33 настоящей Инструкции.

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

Усилие предварительного обжатия N_0 следует определять с учетом основных и дополнительных потерь предварительного напряжения в арматуре по п. 1.22 настоящей Инструкции.

Приведенная площадь сечения нагретого элемента $F_{п}$ в формулах (126) и (129) главы СНиП II-21-75 определяется по формуле (6) настоящей Инструкции.

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

$$W_т = [0{,}292 + 0{,}75\,(\gamma_1 + 2\mu_1 n) + 0{,}075\times \times (\gamma_1' + 2\mu_1' n)]\,bh^2; \qquad (43)$$

где

$$\gamma_1 = \frac{(b_{п} - b)\,h_{п}}{bh}; \qquad (44)$$

$$\gamma_1' = \frac{2\,(b_{п} - b)\,h_{п}'}{bh}; \qquad (45)$$

$$\mu_1 = \frac{F_a}{bh}; \qquad (46)$$

$$\mu_1' = \frac{F_a'}{bh}; \qquad (47)$$

$$n = \frac{E_a \beta_a}{E_б \beta_б}, \qquad (48)$$

здесь β_a — определяется по табл. 20 настоящей Инструкции в зависимости от температуры растянутой и сжатой арматуры;
$\beta_б$ — определяется по табл. 10 настоящей Инструкции в зависимости от температуры бетона на уровне растянутой и сжатой арматуры.

При расчете элементов с повышенной толщиной защитного слоя растянутой арматуры $\left(\delta = \frac{a}{h} > 0{,}1\right)$, ко-

эффициент μ_1 в формуле (43) настоящей Инструкции уменьшается на величину $k=1—2\delta$.

4.5. Расчет железобетонных элементов по образованию трещин при воздействии температуры и многократно повторяющейся нагрузки следует производить по п. 4.10 главы СНиП II-21-75, при этом расчетное сопротивление бетона $R_{\text{рII}}$ следует дополнительно умножать на коэффициенты условий работы бетона $m_{\text{р}t}$ и $m_{\text{б}2t}$, принимаемые по табл. 10 и 16 настоящей Инструкции 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 (31) настоящей Инструкции.

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 расчетные сопротивления бетона $R_{\text{пр}\,\text{II}}$ и $R_{\text{р}\,\text{II}}$ должны дополнительно умножаться на коэффициенты условий работы бетона соответственно $m_{\text{б}t}$ и $m_{\text{р}t}$, принимаемые по табл. 10 настоящей Инструкции:

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

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

Коэффициенты m_1 и m_2 следует принимать по табл. 34 главы СНиП II-21-75 для бетона составов (см. табл. 9 настоящей Инструкции):

№ 1—3, 6, 7, 13, 20 и 21	— как для тяжелого бетона;
№ 4, 5, 8—12, 14—19, 23, 24 и 29	— как для бетона на пористых заполнителях.

4.7. Расчет элементов по образованию трещин, наклонных к их продольной оси на действие многократно повторяющейся нагрузки в условиях воздействия температуры, следует производить по п. 4.12 главы СНиП II-21-75 с учетом дополнительных указаний п. 4.6 настоящей Инструкции.

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, $a_т$ должна определяться по формуле (138) главы СНиП II-21-75.

При более высоких температурах арматуры необходимо учитывать дополнительное раскрытие трещин, вызванное разностью деформаций бетона и арматуры от воздействия температуры. В этом случае в формулу (138) главы СНиП II-21-75 вместо величины $\frac{c_д \sigma_а}{E_а}$ вводится величина

$$\frac{c_д \sigma_а}{E_а \beta_а} + (\alpha_{аtс} - \alpha_{бt})\, t_а,$$

где $\alpha_{аtс}$ — определяется по формуле (41) настоящей Инструкции;

$\alpha_{бt}$ — принимается по табл. 14 настоящей Инструкции в зависимости от температуры бетона на уровне арматуры и длительности нагрева;

$\beta_а$ — определяется по табл. 20 настоящей Инструкции в зависимости от температуры арматуры.

Величина $\sigma_а$ не должна превышать величины $R_{аП}$ для стержневой арматуры и 0,8 $R_{аП}$ для проволочной арматуры; при этом $R_{аП}$ дополнительно умножается на коэффициент условий работы арматуры $m_{аt}$, принимаемый по табл. 20 настоящей Инструкции в зависимости от температуры арматуры.

Расчет по раскрытию трещин, наклонных к продольной оси элемента

4.9. Ширина раскрытия трещин, наклонных к продольной оси $a_т$ в изгибаемых элементах с поперечной арматурой при воздействии температуры, должна определяться по формуле (146) главы СНиП II-21-75, в которой модуль упругости арматуры $E_а$ следует умножать на коэффициент $\beta_а$, принимаемый по табл. 20 настоящей Инструкции в зависимости от наибольшей температуры поперечной арматуры.

РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ЗАКРЫТИЮ ТРЕЩИН

4.10. Расчет железобетонных элементов по закрытию трещин при воздействии температуры производится по пп. 4.19—4.21 главы СНиП II-21-75, при этом:

расчетное сопротивление арматуры $R_{a\text{п}}$ следует дополнительно умножать на коэффициент условий работы арматуры m_{at}, принимаемый по табл. 20 настоящей Инструкции в зависимости от температуры арматуры;

усилие предварительного обжатия N_0 должно приниматься с учетом основных и дополнительных потерь предварительного напряжения в арматуре по п. 1.22 настоящей Инструкции.

Напряжения растяжения в напрягаемой арматуре A 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) железобетонных элементов, подвергающихся воздействию повышенных и высоких температур, должны вычисляться по пп. 4.22 — 4.30 главы СНиП II-21-75 с учетом дополнительных требований пп. 4.12—4.16 настоящей Инструкции.

Определение кривизны железобетонных элементов на участках без трещин в растянутой зоне

4.12. Определение величины кривизн изгибаемых, внецентренно-сжатых и внецентренно-растянутых элементов по формулам (154) — (157) главы СНиП II-21-75 на участках, где не образуются трещины, нормальные к продольной оси элемента, следует производить с учетом следующих указаний:

при определении кривизн $\frac{1}{\rho_к}$ и $\frac{1}{\rho_д}$ по формуле (154) главы СНиП II-21-75:

коэффициент c, учитывающий влияние длительной ползучести бетона, при расчете на длительный нагрев принимается по табл. 24 настоящей Инструкции в зависимости от средней температуры бетона сжатой зоны сечения (см. п. 4.13 настоящей Инструкции);

Таблица 24

Номера составов бетона по табл. 9 настоящей Инструкции	Коэффициент c, 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
1—4	3	4	3,5	4	4,5	—	—	—	—	—
5—11, 23, 24	3	4	3,5	3,5	3,5	5	7	8	10	—
12—18, 27, 29	3,5	4,5	4	4	8	11	15	20	—	—
19—21	3	3	3	3	3,5	7	10	13	16	20

Примечания: 1. Коэффициент c для промежуточных значений температур принимается по интерполяции.
2. При наличии в элементе сжатой арматуры ($\mu_{c\text{ж}} > 0{,}7\%$) величина коэффициента c умножается на 0,8.

коэффициент $k_{\text{п}}$ принимается по п. 1.16 настоящей Инструкции;

момент инерции приведенного сечения $J_{\text{п}}$ определяется по п. 1.16 настоящей Инструкции.

В формуле (157) главы СНиП II-21-75 модуль упругости арматуры следует умножать на коэффициент $\beta_{\text{а}}$, принимаемый по табл. 20 настоящей Инструкции в зависимости от температуры арматуры.

Определение кривизны железобетонных элементов на участках с трещинами в растянутой зоне

4.13. На участках, где образуются нормальные к продольной оси трещины, кривизны изгибаемых, внецентренно-сжатых, а также внецентренно-растянутых с эксцентрицитетом $e_{0c} \geqslant 0{,}8h_0$ элементов прямоугольного, таврового и двутаврового (коробчатого) сечений при воздействии температуры определяют по формуле (158) главы СНиП II-21-75 с учетом следующих указаний:

модуль упругости бетона $E_{\text{б}}$ следует умножать на коэффициент $\beta_{\text{б}}$, принимаемый по табл. 10 настоящей Инструкции в зависимости от средней температуры бетона сжатой зоны;

расчетное сопротивление бетона $R_{\text{прц}}$ должно дополнительно умножаться на коэффициент условий работы

бетона $m_{бt}$, принимаемый по табл. 10 настоящей Инструкции в зависимости от средней температуры бетона сжатой зоны;

коэффициент ν следует принимать по табл. 13 настоящей Инструкции 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 $0{,}2h_0$ от края сжатой грани сечения;

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

Модуль упругости арматуры E_a следует умножать на коэффициент β_a и коэффициент ν_a, принимаемые по табл. 20 и 22 настоящей Инструкции в зависимости от температуры растянутой арматуры;

расчетное сопротивление бетона $R_{рп}$ должно дополнительно умножаться на коэффициент условий работы бетона $m_{рt}$, принимаемый по табл. 10 настоящей Инструкции в зависимости от температуры бетона на уровне растянутой арматуры.

Коэффициент ψ_a определяется по п. 4.29 главы СНиП II-21-75, принимая коэффициент s по табл. 37 главы СНиП II-21-75:

при расчете на кратковременный нагрев — как для кратковременного действия нагрузки;
при расчете на длительный нагрев — как для длительного действия нагрузки;

$W_т$ вычисляется согласно указаниям п. 4.4 настоящей Инструкции.

Коэффициент $\psi_б$ принимается равным:

Для жаростойких бетонов марок выше М 100 . . . 0,9;
Для жаростойких бетонов марок М 100 и ниже . . 0,7;
Для конструкций из жаростойких бетонов, рассчитываемых на действие многократно повторяющихся нагрузок при воздействии температуры, независимо от вида и марки бетона . . . . . 1.

Усилия предварительного обжатия N_0 вычисляются с учетом основных и дополнительных потерь предварительного напряжения в арматуре по п. 1.22 настоящей Инструкции.

В формулах (159) и (162) главы СНиП II-21-75 коэффициент n следует принимать по формуле (48) настоящей Инструкции, а коэффициент p — равным 1,8.

Определение прогибов

4.14. Полный прогиб элементов равен сумме прогибов, обусловленных:

деформацией изгиба $f_м$, который определяется по п. 4.31 главы СНиП II-21-75;

деформацией от воздействия температуры f_t, который принимается по п. 4.16 настоящей Инструкции;

деформацией сдвига f_Q, который учитывается для изгибаемых элементов при $\frac{l}{h} < 10$ по п. 4.15 настоящей Инструкции.

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

4.15. Прогиб f_Q, обусловленный деформацией сдвига, определяется по п. 4.33 главы СНиП II-21-75 от нагрузки и от воздействия температуры с учетом следующих дополнительных требований.

Коэффициент c принимается по табл. 24 настоящей Инструкции.

При определении модуля сдвига G модуль упругости бетона $E_б$, принимаемый по табл. 11 настоящей Инструкции, умножается на коэффициент $\beta_б$, определяемый по табл. 10 в зависимости от температуры бетона в центре тяжести сечения.

В формуле (172) главы СНиП II-21-75 момент инерции приведенного сечения $J_п$ определяется по п. 1.16 настоящей Инструкции.

4.16. Прогиб f_t, обусловленный деформациями от неравномерного нагрева бетона по высоте сечения элемента должен определяться по формуле

$$f_t = \int_0^l \overline{M}(x) \frac{1}{\rho_t}(x)\, dx, \qquad (49)$$

где $\frac{1}{\rho_t}(x)$ — кривизна элемента в сечении x от воздействия температуры, с учетом наличия в данном сечении трещин, вызванных усилиями от действия нагрузки или температуры, определяется по пп. 1.28—1.32 настоящей Инструкции;

$\overline{M}(x)$ — изгибающий момент в сечении x от действия единичной силы, приложенной по направлению искомого перемещения элемента, в сечении по длине пролета, для которого находится прогиб.

Прогибы элементов конструкций, имеющих одностороннее армирование и сварные стыки арматуры в растянутой зоне сечения, определяются с учетом повышенной деформативности стыков. При этом кривизна 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 настоящей Инструкции.

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

$$f_t = \frac{1}{\rho_t} s_2 l^2, \qquad (50)$$

где $\frac{1}{\rho_t}$ — кривизна от воздействия температуры определяется по пп. 1.28—1.32 настоящей Инструкции;

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

$$B = \frac{k_{\text{п}} E_{\text{б}} J_{\text{п}}}{c}. \qquad (51)$$

Величины $J_{\text{п}}$, c и $k_{\text{п}}$ принимаются по пп. 4.12 и 1.16 настоящей Инструкции.

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

для изгибаемых элементов

$$B = \frac{h_0 z_1}{\dfrac{\psi_{\text{а}}}{E_{\text{а}} \beta_{\text{а}} \nu_{\text{а}} F_{\text{а}}} + \dfrac{\psi_{\text{б}}}{(\gamma' + \xi)\, b h_0 E_{\text{б}} \beta_{\text{б}} \nu}}; \qquad (52)$$

для внецентренно-сжатых элементов

$$B = \frac{e_{0c} h_0 z_1}{\frac{\psi_a}{E_a \beta_a \nu_a F_a}(e - z_1) + \frac{\psi_б e}{(\gamma' + \xi)\, b h_0 E_б \beta_б \nu}}, \qquad (53)$$

где
$$e_{0c} = \frac{M}{N_c}; \qquad (54)$$

M и N_c — с учетом усилия, вызванного воздействием температуры.

Все остальные величины, входящие в формулы (52) и (53) настоящей Инструкции, определяются по п. 4.13 настоящей Инструкции.

5. КОНСТРУКТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

5.1. При проектировании бетонных и железобетонных конструкций, работающих в условиях воздействия повышенных и высоких температур, следует выполнять конструктивные требования главы СНиП II-21-75, а также указания пп. 5.2—5.22 настоящей Инструкции.

МИНИМАЛЬНЫЕ РАЗМЕРЫ СЕЧЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ

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

Толщина монолитных плит покрытий и перекрытий из тяжелого и облегченного жаростойкого бетона должна приниматься не менее 60 мм, сводов и куполов — не менее 40 мм, плит из легкого жаростойкого бетона — не менее 60 мм.

Таблица 25

Элементы	Предельная гибкость $\frac{l_0}{r}$ 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.

Размеры сечений внецентренно-сжатых бетонных и железобетонных элементов при воздействии повышенных и высоких температур должны приниматься такими, чтобы их гибкость $\frac{l_0}{r}$ не превышала предельной величины, указанной в табл. 25 настоящей Инструкции.

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 напрягаемой и ненапрягаемой при натяжении на упоры — по пп. 5.5 и 5.10 главы СНиП II-21-75;

для поперечной, распределительной и конструктивной арматуры — по п. 5.6 главы СНиП II-21-75;

при температуре арматуры 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 пп. 5.5, 5.6 и 5.10 главы СНиП II-21-75 при температуре арматуры:

до 200°С	— на 5 мм;
свыше 200°С	— на 10 » ;

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

до 100°С	— 1,5 d;
свыше 100 до 300°С	— 2 d;
» 300°С	— 2,5 d.

5.4. Толщина защитного слоя бетона у концов предварительно-напряженных элементов из обычного и жаростойкого бетона на участке зоны передачи усилий от арматуры на бетон при температуре арматуры до 100°С должна приниматься в соответствии с п. 5.7 главы СНиП II-21-75, 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 на-

прягаемой арматуры в пазах или снаружи сечения элемента следует принимать по п. 5.8 главы СНиП II-21-75, а при более высокой температуре арматуры увеличивать на 10 мм.

5.6. В 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 настоящей Инструкции.

АНКЕРОВКА НЕНАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРЫ

5.7. При определении длины анкеровки арматуры $l_{ан}$ по формуле (173) главы СНиП II-21-75 при воздействии повышенной и высокой температуры $R_а$ следует дополнительно умножать на коэффициент условий работы арматуры m_{at}, принимаемый по табл. 20 настоящей Инструкции в зависимости от температуры арматуры; $R_{пр}$ следует дополнительно умножать на коэффициент условий работы бетона $m_{бt}$, принимаемый по табл. 10 настоящей Инструкции в зависимости от температуры бетона на уровне арматуры.

При температуре арматуры выше 200°С величину $l_{ан}$ следует увеличивать на 20%; к каждому растянутому продольному стержню необходимо предусматривать приварку не менее двух поперечных стержней.

ПРОДОЛЬНОЕ АРМИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ

5.8. Продольное армирование железобетонных элементов из жаростойкого бетона должно предусматриваться по пп. 5.16—5.21 главы СНиП II-21-75.

Площадь сечения продольной арматуры в железобетонных элементах из жаростойкого бетона должна быть не менее указанной в табл. 40 главы СНиП II-21-75.

Диаметр продольной рабочей арматуры не должен превышать при температуре арматуры:

До 100°С	28 мм
Свыше 100 до 200°С	25 »
» 200 » 300°С	20 »
» 300 » 400°С	16 »
» 400°С	12 »

ПОПЕРЕЧНОЕ АРМИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ

5.9. Поперечное армирование железобетонных элементов из жаростойкого бетона должно приниматься по пп. 5.22—5.31 главы СНиП II-21-75.

а)
б)
в)
г)
д)
е)
ж)
20мм
40мм
ф60
150мм
50мм

Рис. 5. Стыки элементов сборных конструкций из жаростойкого бетона

а — стык ребристых панелей в стенах; *б* — стык ребристых панелей в покрытиях; *в* — стык ребристых панелей с консольными выступами; *г* — стык двухслойных панелей; *д* — стык панелей с окаймляющим арматурным каркасом; *е* — стык панелей с окаймляющими ребрами из тяжелого жаростойкого бетона; *жс* — стык панелей из особо легкого жаростойкого бетона; *1* — тяжелый или облегченный жаростойкий бетон; *2* — арматурный каркас; *3* — особо легкий жаростойкий бетон; *4* — брусок сечением 50×50 мм из тяжелого или облегченного жаростойкого бетона; *5* — стержень диаметром 6 мм; *6* — жаростойкий раствор; *7* — уголок жесткости панели; *8* — жаростойкий легкий бетон; *9* — анкер; *10* — теплоизоляционная прослойка толщиной 10—20 мм; *11* — металлический лист; *12* — стыковая накладка

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

СТЫКИ НЕНАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРЫ

5.10. Сварные соединения арматуры принимаются по пп. 5.32—5.36 главы СНиП II-21-75.

Стыки ненапрягаемой арматуры внахлестку (без сварки) в конструкциях из жаростойкого бетона должны выполняться по пп. 5.37—5.41 главы СНиП II-21-75. Длина перепуска (нахлестки) $l_н$ арматуры в рабочем направлении должна быть не менее величины $l_{ан}$, определяемой с учетом требований п. 5.7 настоящей Инструкции. 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 выполняться по пп. 5.42—5.46 главы СНиП II-21-75. 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 5×5 см (рис. 5, *а*). В стыках панелей, перекрывающих рабочее пространство теплового агрегата, бетонный брус должен устанавливаться на растворе с менее нагретой стороны ребер (рис. 5, *б*). Пространство между ребрами стыкуемых

подвесных панелей с консольными выступами плиты следует заполнять теплоизоляционным материалом (рис. 5, *в*).

Стыки между панелями из легкого жаростойкого бетона должны заполняться раствором марки, меньшей бетона футеровки. Марка раствора должна быть не ниже М 15. Продольные торцовые поверхности панелей должны иметь пазы или скосы, удерживающие раствор от выпадания.

5.12. Соединение арматуры в сборных элементах из жаростойкого бетона допускается выполнять через

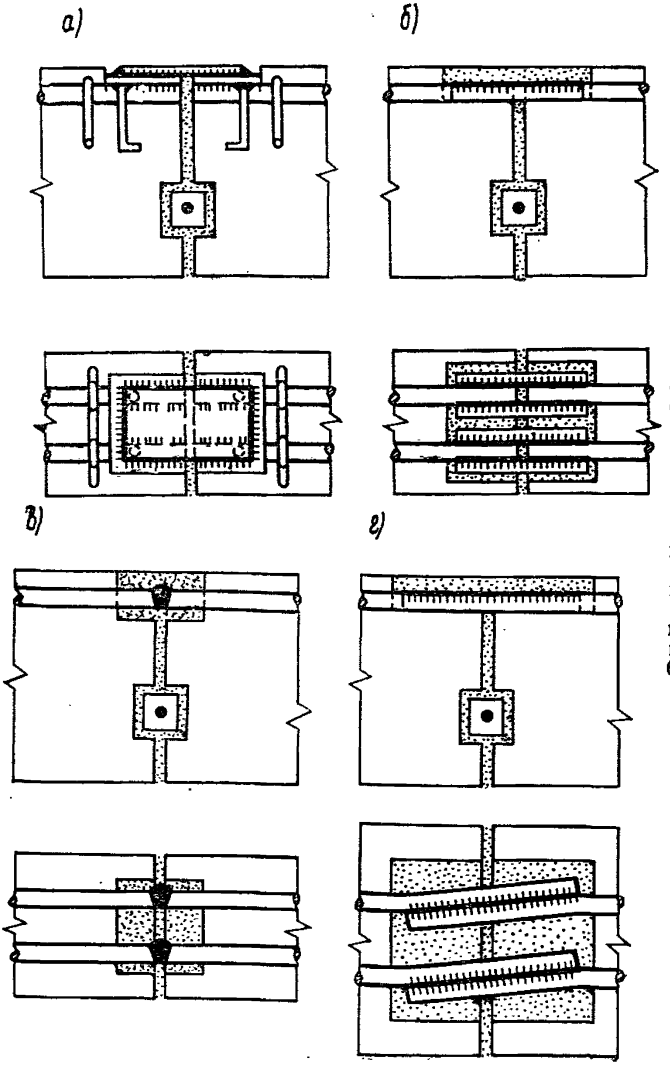


Рис. 6. Соединения арматуры в стыках элементов сборных конструкций из жаростойкого бетона

а — нахлесточное соединение с металлической накладкой из листовой стали; *б* — стыковое соединение по ГОСТ 19293 — 73; *в*—стыковое соединение по ГОСТ 14098—68; *г* — нахлесточное соединение

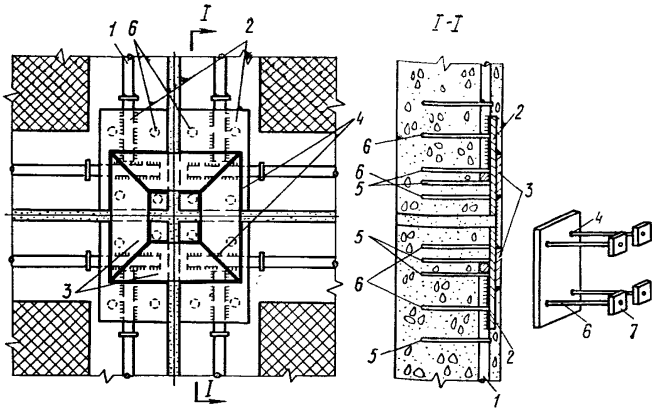


Рис. 7. Деталь стыка арматуры четырех панелей из жаростойкого железобетона

1 — арматура; *2* — косынка; *3* — стыковая накладка; *4* — сварка; *5* — анкер арматуры; *6* — анкер косынки; *7* — анкерующая пластинка

окаймляющие уголки, стыковые накладки или путем стыкования арматуры внахлестку (рис. 6).

В стыках панелей, передающих усилия от арматуры через косынку на стыковую накладку с эксцентрицитетом, обязательно должны предусматриваться анкеры из арматуры периодического профиля. Длина анкерных стержней, приваренных к пластине втавр или внахлестку, должна быть не менее $l_{ан}$, определяемой по п. 5.7 настоящей Инструкции. Если необходимую расчетную длину анкеров трудно выдержать из-за температуры, превышающей предельно допустимую температуру применения арматуры, устанавливаемой по расчету (см. табл. 17 настоящей Инструкции), то допускается уменьшать длину анкеров с обязательной приваркой к их концам дополнительных пластин (рис. 7).

ОТДЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

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

$$\delta = \varepsilon_t l. \qquad (55)$$

Относительное удлинение оси элемента ε_t следует

вычислять в зависимости от вида конструкции и характера нагрева по пп. 1.28—1.31 настоящей Инструкции.

Ширину температурно-усадочного шва, вычисленную по формуле (55) настоящей Инструкции, следует увеличивать на 30%, если шов заполняется асбовермикули-

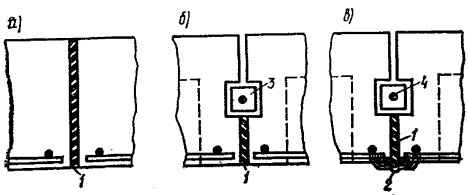


Рис. 8. Температурные швы в конструкциях из жаростойкого бетона
а — шов, заполненный шнуровым асбестом; *б* — то же, с бетонным бруском; *в* — то же, с металлическим компенсатором; *1* — шнуровой асбест, смоченный в глиняном растворе; *2* — компенсатор; *3* — бетонный брусок; *4* — стальной стержень диаметром 6 мм

товым раствором, каолиновой ватой или шнуровым асбестом, смоченным в глиняном растворе.

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

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

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

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 60—90 см в двух взаимно перпендикулярных направлениях (рис. 9, *б*).

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

устройством компенсационных швов в более нагретой сжатой зоне бетона (рис. 9, *а*). Компенсационные швы шириной 2—5 мм следует располагать через 60—

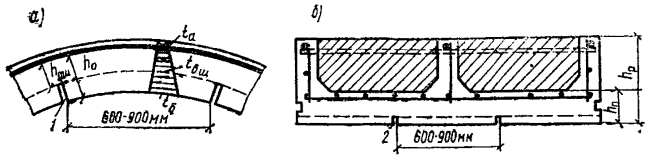


Рис. 9. Швы со стороны нагреваемой поверхности в конструкциях из жаростойкого бетона

а — компенсационные; *б* — усадочные; *1* — компенсационный шов шириной 2—5 мм; *2* — усадочный шов глубиной 0,1 $h_п$ и шириной 2—3 мм

90 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 слоя бетона или устройством наружной теплоизоляции.

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 настоящей Инструкции).

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 (рис. 10).

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

5.17. Несущие и ненесущие конструкции тепловых агрегатов следует выполнять из сборных однослойных или

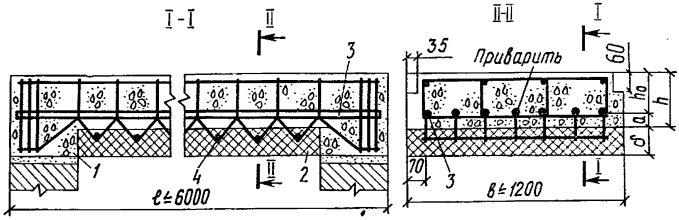


Рис. 10. Конструкция изгибаемого железобетонного элемента, нагреваемого до температуры более 400° С со стороны растянутой зоны

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

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 может 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 слой 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 настоящей Инструкции, то для усиления связи между слоями допускается устраивать выступы или бетонные шпонки.

В ребристых панелях плиту и ребра следует выполнять из тяжелого или облегченного жаростойкого бетона (см. рис. 9, *б*). В местах сопряжения ребер с плитой необходимо устраивать вуты. Между ребрами с менее нагретой стороны следует располагать тепловую изоля-

цию 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 настоящей Инструкции. Если температура нагрева плиты панели превышает предельно допустимую температуру применения конструктивной арматуры, допускается плиту не армировать.

В панелях с окаймляющими ребрами прямоугольного или трапециевидного сечения ребра должны предусматриваться из тяжелого или облегченного 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 (рис. 11, *б*).

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 (рис. 11, *а*). Анкеры должны приниматься из стержней диаметром 6—10 мм или полосы 3×19 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 арматурным каркасом сварной каркас следует располагать по периметру панели у менее нагретой стороны (рис. 11, *в*).

Крепление панелей к каркасу должно осуществляться на болтах или на сварке так, чтобы они 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.

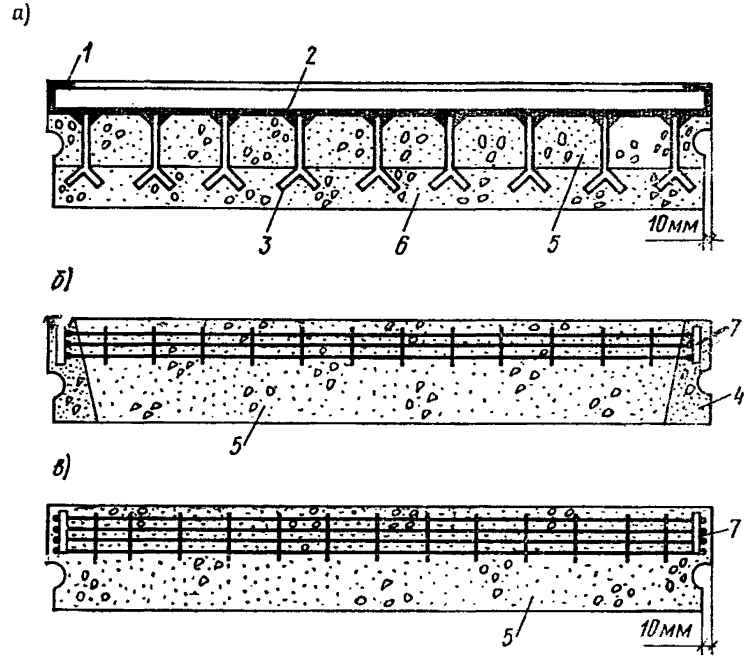


Рис. 11. Конструкции панелей из легкого жаростойкого бетона

а — двухслойная панель на металлическом листе; *б* — панель с окаймляющим каркасом из тяжелого или облегченного жаростойкого бетона; *в* — панель с окаймляющим арматурным каркасом; *1* — уголок жесткости панели; *2* — металлический лист; *3* — анкер; *4* — окаймляющий каркас из тяжелого или облегченного жаростойкого бетона; *5* — особо легкий жаростойкий бетон; *6* — легкий жаростойкий бетон; *7* — арматурный каркас

5.18. Конструкции, перекрывающие рабочее пространство теплового агрегата, могут быть свободно опертыми, подвесными и монолитно связанными со стенами. 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 напряжений в бетоне со стороны более нагретой поверхности. Подвесные конструкции не должны воспринимать никаких внешних нагрузок, кроме собственного

веса, и на них не должны устраиваться мостки или настилы для хождения обслуживающего персонала.

Купола и своды должны иметь стрелу подъема не менее $^1/_{12}$ пролета в свету. Нижняя криволинейная поверхность их должна сопрягаться со стенами по переходной кривой, радиус которой принимается не менее толщины стены.

Купола и своды с плоской верхней поверхностью у пяты должны иметь компенсационный шов шириной 20—40 мм на глубину, равную высоте сечения в замке (рис. 12). Следует предусматривать заполнение шва лег-

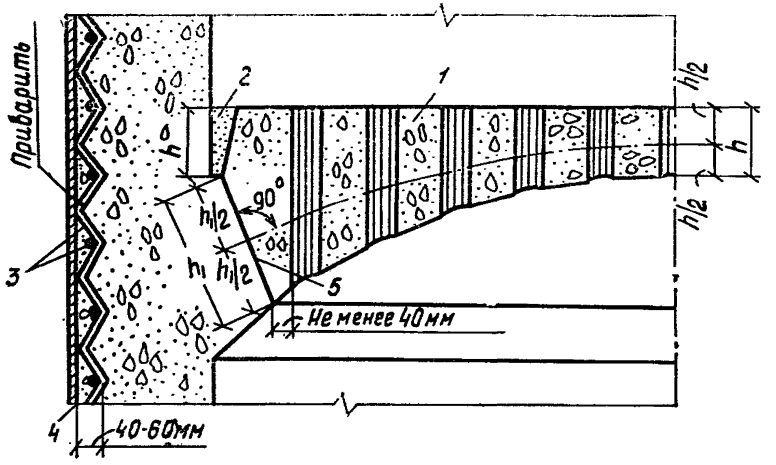


Рис. 12. Конструкция купола перекрытия с технологическими отверстиями из жаростойкого бетона для круглого теплового агрегата

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

ко деформируемым материалом и покраску пят тонким слоем битумного лака. За осевую линию в таких куполах и сводах допускается принимать дугу окружности, проведенную через центр пяты и середину высоты сечения в центре пролета.

В куполах и сводах при высоте сечения в замке более 250 мм кроме основной рабочей арматуры необходимо предусматривать конструктивную сетку из проволоки диаметром не более 6 мм с ячейкой не менее 100×100 мм, которую следует располагать в бетоне с температурой, не превышающей предельно допусти-

мую температуру применения конструктивной арматуры (см. табл. 17 настоящей Инструкции). Сетка должна соединяться хомутами с основной арматурой (рис. 13).

5.19. Рабочую арматуру в железобетонных конструкциях, перерезаемую различными технологическими от-

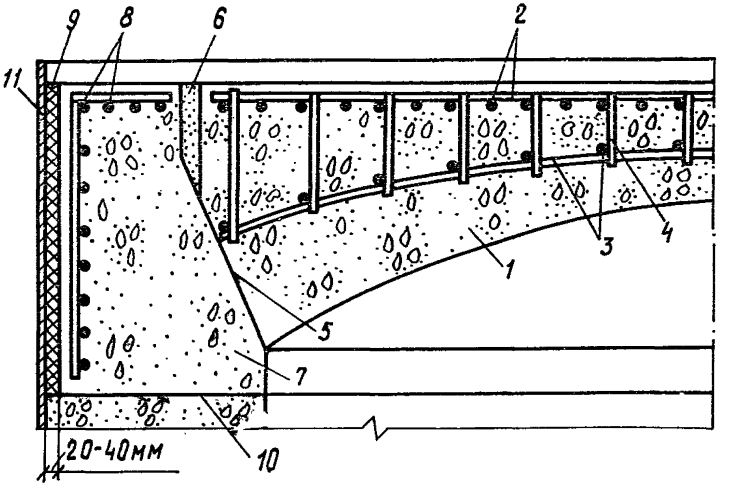


Рис. 13. Конструкция железобетонного купола покрытия с плоской верхней поверхностью из жаростойкого бетона для круглого теплового агрегата

1 — купол; *2* — рабочая арматура купола; *3* — сетка из проволоки диаметром до 6 мм; *4* — хомут из проволоки диаметром 6 мм; *5* — пята купола; *6* — компенсационный шов шириной 20—40 мм, заполненный легко деформируемым материалом; *7* — опорное кольцо; *8* — рабочая арматура опорного кольца; 9 — теплоизоляционная прослойка толщиной 20—40 мм; *10* — пята купола; *11* — кожух

верстиями, 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 настоящей Инструкции.

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. рис. 12).

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;

в) проектная марка бетона и требуемая прочность бетона при температуре во время эксплуатации;

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

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

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

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

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 настоящей Инструкции
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, отжигательные 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

Наименование теплового агрегата	Элементы из жаростойкого бетона	Температура рабочего пространства печи, °С	Рекомендуемый состав бетона по табл. 9 настоящей Инструкции
Электролитические ванны цветной металлургии	Стены	1000	10, 11
III. В нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности			
Трубчатые печи	Стены камеры радиации	1000	31
	Своды камеры радиации	1000	31
	Стены камеры конвекции	1000	23, 24, 25, 26
	Своды камеры конвекции	1000	23, 24, 25, 26
Вертикально-секционные печи	Стены камеры радиации	900	31
Трубчатые печи беспламенного горения типа Б	Фундаменты, стены, свод, под, перевальные стенки	800	10, 11
Трубчатые печи беспламенного горения типа ЗР	Стены, свод, под	850—1100	23—30
Трубчатые печи настильные типа ЗД	То же	900—1100	23—30
Трубчатые печи настильные типа В	»	800	22
Вертикально-факельные типа ГС	Стены камер конвекции и радиации, свод, подовая часть	900	23—26
Объемно-настильные печи с разделительной стенкой типа ГН	То же	900—1100	23—26
Цилиндрические, факельные, типа ЦС	Стены камер конвекции и радиации, свод, подовая часть	800—1100	23—30
Цилиндрические печи типа ЦД настильные с дифференцированным подводом воздуха	То же	800—1100	23—30
Каталитического риформинга и гидроочистки типа Р многокамерные	Стены, свод, подовая часть	1250	23—26
Надземные газоходы трубчатых печей	Все элементы	600	23—26

Наименование теплового агрегата	Элементы из жаростойкого бетона	Температура рабочего пространства печи, °С	Рекомендуемый состав бетона по табл. 9 настоящей Инструкции
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 разных отраслях промышленности			
Борова и газоходы для температур до 350° С	Стены, свод	350	2—4
Борова и газоходы для температур до 800° С	То же	800	6—9
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	6—9
Полы горячих цехов	—	—	7, 8
Колпаковые печи для обжига металла	—	800	10, 11
Обжиговые печи электродной промышленности	—	1400	20, 21
Сушильные печи	Покрытие, стены, под	1000	10, 11
Котлы различного назначения	Футеровка экранированных стен	800	23—30
Нагревательные, прокатные, кузнечные и конвейерные печи	Стены, под, глиссажные и опорные трубы	1200	19, 21
Печи для обжига сернистых материалов	Стены, свод, под	1000	15—18
Печи для обжига санитарно-технического оборудования	Свод	1100	19

ОСНОВНЫЕ БУКВЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

УСИЛИЯ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПОПЕРЕЧНОМ СЕЧЕНИИ ЭЛЕМЕНТА

M_t — изгибающий момент;
N_t — продольная сила;
Q_t — поперечная сила.

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕДВАРИТЕЛЬНО-НАПРЯЖЕННОГО ЭЛЕМЕНТА

N_0 — усилие предварительного обжатия определяется по формуле (9) главы СНиП II-21-75 при σ_0 и σ'_0 с учетом первых и вторых основных потерь;

σ_0 и σ'_0 — предварительные напряжения соответственно в напрягаемой арматуре A и A', которые принимаются по п. 1.29 главы СНиП II-21-75, с учетом первых и вторых основных потерь;

$e_{0н}$ — эксцентрицитет усилия предварительного обжатия N_0 относительно центра тяжести приведенного сечения, определяемого по формуле (10) главы СНиП II-21-75 при величинах σ_0 и σ'_0, с учетом первых и вторых основных потерь;

$\sigma_б$ — установившееся напряжение в бетоне на уровне центров тяжести продольной арматуры A и A' после проявления всех основных потерь, которое определяется по формуле (16) настоящей Инструкции.

ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ТЕМПЕРАТУРЫ

$R_{прt}$ и R_{pt} — расчетные сопротивления бетона сжатию и растяжению для предельных состояний первой группы;

$R_{прtII}$ и R_{ptII} — расчетные сопротивления бетона сжатию и растяжению для предельных состояний второй группы;

R_{at} и R_{atII} — расчетные сопротивления арматуры растяжению для предельных состояний соответственно первой и второй групп:

а) продольной;

б) поперечной при расчете сечений, наклонных к продольной оси элемента, на действие изгибающего момента;

R_{axt} и R_{act} — 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;

$E_{бt}$ — модуль упругости бетона;

E_{at} — модуль упругости арматуры;

σ_{at}, σ_{pt} и $\sigma_{бt}$ — напряжение в растянутой арматуре, в растянутом и сжатом бетоне, в сечении с трещиной;

$\alpha_р$, $\alpha_у$ и $\alpha_{бt}$ — коэффициенты линейного температурного расширения, температурной усадки и температурной деформации бетона;

α_{at} — коэффициент линейного температурного расширения арматуры A и A';

α_{atc} — коэффициент температурного расширения растянутой арматуры в бетоне с учетом влияния работы бетона между трещинами, определяемый по формуле (41) настоящей Инструкции.

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

$\frac{1}{\rho_t}$ и $\frac{1}{\rho_у}$ — кривизна оси элемента от воздействия температуры при нагреве и остывании;

$h_{0ш}$ — рабочая высота сечения у шва, равная $h_ш - a$;

y — расстояние от центра тяжести приведенного сечения до растянутой грани в формулах (5), (14) и (15), до волокна бетона, в котором определяется напряжение в формуле (16) и до менее нагретой грани в формулах (23) и (24) настоящей Инструкции;

y_a и y_a' — расстояние от центра тяжести приведенного сечения элемента до равнодействующей усилий в арматуре A и A';

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

$J_п$ — момент инерции приведенного сечения элемента относительно его центра тяжести, определяемый по п. 1.16 настоящей Инструкции;

f_t, ε_t и $\varepsilon_у$ — расчетные величины прогиба, удлинения и укорочения элемента от воздействия температуры.

ТЕМПЕРАТУРЫ

$t_б$ — температура бетона;

t_a и t_a' — температура арматуры A и A';

$t_в$ — температура среды со стороны источника тепла;

$t_н$ — температура воздуха с наружной стороны элемента.

СОДЕРЖАНИЕ

		Стр.
1.	**Основные положения**	1
	Общие указания	1
	Основные расчетные требования	3
	Дополнительные указания по проектированию предварительно-напряженных конструкций	16
	Деформации и усилия от воздействия температуры	19
	Определение температур в сечениях элементов конструкций	26
2.	**Материалы для бетонных и железобетонных конструкций**	31
	Бетон	31
	Расчетные характеристики бетона	41
	Арматура	51
	Расчетные характеристики арматуры	53
3.	**Расчет элементов бетонных и железобетонных конструкций по предельным состояниям первой группы**	58
	Расчет бетонных элементов по прочности	58
	Расчет железобетонных элементов по прочности	61
	Расчет железобетонных элементов на выносливость	67
4.	**Расчет элементов железобетонных конструкций по предельным состояниям второй группы**	67
	Расчет железобетонных элементов по образованию трещин	67
	Расчет железобетонных элементов по раскрытию трещин	71
	Расчет железобетонных элементов по закрытию трещин	72
	Расчет элементов железобетонных конструкций по деформациям	72
5.	**Конструктивные требования**	77
	Минимальные размеры сечения элементов	77
	Защитный слой бетона	78
	Анкеровка ненапрягаемой арматуры	79
	Продольное армирование элементов	79
	Поперечное армирование элементов	79
	Стыки ненапрягаемой арматуры	81
	Стыки элементов сборных конструкций	81
	Отдельные конструктивные требования	83
	Требования, указываемые в проектах	91
Приложение 1.	Указания по применению жаростойкого бетона в элементах конструкций	92
Приложение 2.	Основные буквенные обозначения	95

gost.e-ecolog.ru