НИИЖБ ГОССТРОЯ СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ЖАРКОГО КЛИМАТА

МОСКВА–1988

gost.e-ecolog.ru

Госстрой СССР

Ордена Трудового Красного Знамени
научно-исследовательский, проектно-конструкторский и
технологический институт бетона и железобетона
(НИИЖБ)

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ЖАРКОГО КЛИМАТА

Утверждены
директором НИИЖБ
5 марта 1987 г.

Москва 1988

УДК 693.547.6

Печатаются по решению секции теории бетона и железобетона НТС НИИЖБ Госстроя СССР от I5 марта I987 г.

Рекомендации по проектированию бетонных и железобетонных конструкций для жаркого климата. - М.: НИИЖБ Госстроя СССР, I988. - 33 с.

Содержат новые положения расчета бетонных и железобетонных конструкций по прочности, деформациям и усилиям, а также по образованию и раскрытию трещин с учетом температурных и влажностных воздействий жаркого климата. Даны примеры расчета.

Предназначены для инженерно-технических работников проектных организаций.

Табл. I2, илл.I.

© Ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона, I988

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящие Рекомендации содержат положения по учету влияния особенностей жаркого климата на физико-механические характеристики тяжелого и легкого бетонов, а также на прочность, жесткость и трещиностойкость бетонных и железобетонных, в том числе преднапряженных, конструкций.

Рекомендации составлены с учетом отечественного и зарубежного опыта по изучению физико-механических и реологических свойств бетона и арматуры, а также с учетом результатов исследований изгибаемых, сжатых и внецентренно растянутых железобетонных элементов в условиях жаркого климата.

Рекомендации разработаны НИИЖБ (д-р техн.наук, проф. А.Ф.Милованов, кандидаты техн.наук В.Н.Самойленко и В.М.Милонов) при участии кандидатов техн.наук В.Т.Беловешкина и А.С.Дмитриева, а также инженеров Т.Н.Малкиной и И.А.Белышева (ЦНИИСК). При составлении Рекомендаций использованы материалы Ташкентского (кандидаты техн.наук Б.А.Аскаров, М.М.Селимов, Ш.Р.Низамов, Х.У.Камбаров, инженеры М.А.Алимов, С.С.Хасанов) и Ферганского (кандидаты техн.наук А.А.Ахмедов, А.А.Хамралиев, инж. Б.А.Сулайманов) политехнических институтов, Наманганского филиала ТашПИ (инженеры С.А.Махсудов и Б.Ш.Ризаев) и Самаркандского государственного архитектурно-строительного института (кандидаты техн.наук С.Р.Раззаков и Р.А.Мельник) Минвуза УзбССР, ЦНИИС Минтрансстроя СССР (канд.техн.наук Е.Н.Щербаков), Макеевского ИСИ Минвуза УССР (д-р техн.наук, проф. А.П.Кричевский), а также материалы Ростовского (кандидаты техн.наук С.И.Аржановский, Д.Р.Майлян, инж. И.И.Смирнов) и Харьковского (канд.техн.наук С.Л. Фомин) ПромстройНИИпроекта Госстроя СССР и ТашЗНИИЭП Госгражданстроя СССР (кандидаты техн.наук У.Ф.Фазылов и Р.Р.Юсупов).

При внедрении новых разработок НИИЖБ оказывает научно-техническую помощь на основе хозяйственных договоров и консультативную - с оплатой работ по гарантийным письмам.

Адрес института: 109389, Москва, 2-я Институтская ул., д.6.

дирекция НИИЖБ

I. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Настоящие Рекомендации распространяются на проектирование бетонных и железобетонных конструкций для IУ климатического района (СНиП 2.0I.0I-82 "Строительная климатология и геофизика") со средней максимальной температурой наиболее жаркого месяца 33°С и выше.

I.2. Среднемесячную относительную влажность наружного воздуха W, %, определяемую в I3 ч дня наиболее жаркого месяца, следует принимать по СНиП 2.0I.0I-82.

I.3. Для конструкций, не защищенных от солнечной радиации, необходимо по СНиП 2.0I.07-85 и в соответствии с 4.I-4.3 настоящих Рекомендаций учитывать повышение температуры бетона от воздействия суммарной (прямой и рассеянной) солнечной радиации на вертикальную и горизонтальную поверхность конструкции.

I.4. Высокие эксплуатационные качества конструкций, предназначенных для IУ климатического района, могут быть обеспечены только при соблюдении требований СНиП Ш-I5-76 "Правила производства и приемки работ", а также положений "Руководства по производству работ в условиях сухого жаркого климата" (М.: Стройиздат, I977) и настоящих Рекомендаций.

2. МАТЕРИАЛЫ

Б е т о н

2.I. Для изготовления бетонных и железобетонных конструкций, предназначенных для эксплуатации в условиях жаркого климата, рекомендуется применять конструкционные - тяжелый (ГОСТ 26633-85) и легкий (ГОСТ 28820-83)-бетоны классов по прочности на сжатие не ниже В15 (СНиП 2.03.0I-84).

2.2. Цемент, в зависимости от условий эксплуатации, применяют по ГОСТ 23464-79.

Для бетона надземных конструкций, подвергающихся воздействию солнечной радиации, рекомендуется применять цементы, в состав которых входит трехкальциевый алюминат C_3A в количестве не более 8% и которые удовлетворяют требованиям ГОСТ I0I78-85. Кроме того, цементы (за исключением пуццоланового) должны удовлетворять требованиям ГОСТ 22266-76.

Примечание. Не допускается применение шлакопортландцемента марки 300 и глиноземистого цемента.

2.3. Заполнители (см. табл.I) должны отвечать требованиям:
для тяжелого бетона - ГОСТ I0268-80;
для легкого бетона:
пористые - ГОСТ 9757-83;
из керамзита - ГОСТ 9759-83;
из аглопорита - ГОСТ II99I-83.

2.4. Коэффициент линейного температурного расширения бетона α_{bt} следует принимать (по табл.I) в зависимости от вида заполнителя.

Таблица I

Средняя плотность бетона* ρ_m, кг/м^3	Заполнитель	Коэффициент линейного температурного расширения бетона** $\alpha_{bt} \cdot 10^{-6}$ °C^{-1}
(2200/2050) и более	Крупный (кварц, кварциты, сланцы) Мелкий (плотный песок)	I2,0
	Крупный (песчаник, известняк) Мелкий (плотный песок)	II,0
	Крупный (гранит, диорит, сиенит) Мелкий (плотный песок)	I0,0
(2I00/I950) и более	Крупный (базальт) Мелкий (плотный песок)	9,0
(2000/I850)	Крупный (керамзит, аглопорит)	9,5
(I800/I650)	Мелкий (плотный кварцевый песок)	8,5
(I600/I450)	Крупный (керамзит, аглопорит)	8,0
(I400/I250)	Мелкий (пористый керамзитовый или аглопоритовый песок)	7,5
(I200/I050)		7,0

*Перед чертой - для бетона естественной влажности, после черты - в сухом состоянии.

**Для бетона естественной влажности.

2.5. С целью снижения деформаций от усадки и повышения трещиностойкости бетона рекомендуется применять пластифицирующие и воздухововлекающие добавки, а также добавки-замедлители схватывания в соответствии с "Руководством по применению химических добавок в бетоне" (М.: НИИЖБ, I98I).

А р м а т у р а

2.6. Арматуру в железобетонных конструкциях, предназначенных для жаркого климата, следует применять по СНиП 2.03.01-84 "Бетонные и железобетонные конструкции".

2.7. Коэффициент линейного температурного расширения арматуры α_{st}, $^{o}C^{-1}$ принимается равным:

$\alpha_{st} = 11{,}5 \cdot 10^{-6}$ ... для арматуры классов А-I, А-II, Вр-I, В-II, К-7, К-19 марок ВСт3кп2, ВСт3Гпс5, ВСт3пс6;

$\alpha_{st} = 12 \cdot 10^{-6}$ ..... для арматуры классов А-III, А-IIIв, А-IУ, А-У, А-УI, Ат-IУ, Ат-У, Ат-УI.

2.8. Коэффициент температурного расширения арматуры в бетоне α_{stm} принимается:

при отсутствии трещин в бетоне - равным коэффициенту температурной деформации бетона α_{bt} ;

при наличии трещин в бетоне растянутой зоны по формуле (49) СНиП 2.03.04-84 "Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур".

3. РАСЧЕТНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

3.1. Расчет бетонных и железобетонных конструкций для жаркого климата производится по СНиП 2.03.01-84 и СНиП 2.03.04-84 с учетом положений настоящих Рекомендаций, касающихся изменения прочности (см. п.3.11), модуля упругости (см. п.3.12), упруго-пластических и усадочно-температурных (см. пп.3.13-3.15) деформаций бетона в зависимости от относительной влажности воздуха и размеров элемента, а также с учетом всех возможных неблагоприятных сочетаний нагрузок и воздействий, указанных в СНиП 2.01.07-85 "Нагрузки и воздействия" для двух основных стадий работы:

первая стадия - нагревание до расчетной летней температуры наружного воздуха;

вторая стадия - длительное попеременное нагревание до расчетной летней и охлаждение до расчетной зимней температуры наружного воздуха.

3.2. Расчет статически определимых железобетонных конструкций производится (см. п.3.1):

а) по предельным состояниям первой группы - на длительное попеременное нагревание и охлаждение (вторая стадия работы) с учетом

изменения прочности бетона под воздействием жаркого климата;

б) по предельным состояниям второй группы на нагревание (первая стадия работы) и на длительное попеременное нагревание и охлаждение (вторая стадия работы) с учетом изменения физико-механических свойств и усадочно-температурных деформаций бетона под воздействием жаркого климата. Температурные деформации можно не учитывать, если на первой стадии работы конструкции за счет их развития происходит уменьшение деформаций от нагрузки.

Для второй стадии работы конструкции расчет рекомендуется производить, исходя из наиболее неблагоприятного сочетания деформаций и усилий, обусловленных изменением температуры и нагрузки.

3.3. Расчет статически неопределимых железобетонных конструкций для районов с жарким климатом по предельным состояниям первой и второй группы производится:

а) на нагревание (первая стадия работы) - см. п.3.1 настоящих Рекомендаций, - когда возникают наибольшие усилия от воздействия температуры. При этом усилия от одновременного воздействия температуры, нагрузки и собственного веса конструкции определяются с учетом изменения физико-механических свойств и усадочно-температурных деформаций бетона, а жесткость элемента - из условия кратковременного воздействия нагрузки и температуры;

б) на длительное попеременное нагревание и охлаждение (вторая стадия работы), когда происходит снижение жесткости элемента и развитие усадочных деформаций в бетоне. При этом жесткость элемента определяется из условия длительного воздействия нагрузки и температуры.

Примечание. Наибольшие усилия от одновременного воздействия температуры и нагрузки чаще всего наблюдаются при охлаждении конструкции в холодное время года.

3.4. Деформации и усилия, возникающие в конструкции при воздействии жаркого климата, допускается не учитывать, если перепад температуры по сечению элемента составляет меньше $10^{\circ}C$.

Если замыкание статически неопределимой конструкции или ее части в законченную систему будет проводиться в теплое время года, то для первой стадии работы расчет допускается не производить, а для второй стадии - его можно производить без учета усилий и деформаций, обусловленных изменением температуры внешней среды в теплое время года.

3.5. Нагрузки и воздействия, коэффициенты надежности по нагруз-

ке и коэффициенты сочетаний, а также подразделение нагрузок на постоянные и временные следует принимать по СНиП 2.01.07-85 и СНиП 2.03.01-84. Деформации, возникающие под воздействием температуры и влажности, умножают на коэффициент надежности по температуре, принимаемый равным:

при расчете по предельным состояниям первой группы - $\gamma_t = 1,1$;

при расчете по предельным состояниям второй группы - $\gamma_t = 1,0$.

3.6. Предварительно напряженные железобетонные конструкции для жаркого климата следует проектировать, руководствуясь СНиП 2.03 04-84 с учетом положений, перечисленных в пп.3.7-3.10.

3.7. Сжимающие напряжения в бетоне в стадии предварительного обжатия в долях от передаточной прочности бетона σ_{bp} / R_{bt} в зависимости от относительной влажности воздуха W принимают:

при $W \geq 60\%$ - по табл.7 СНиП 2.03.01-84;

при $W = 40\%$ - табличное значение уменьшают на 0,05;

при $W = 20\%$ - то же,..... на 0,10.

3.8. Потери предварительного напряжения арматуры (кроме потерь от усадки, ползучести и релаксации напряжений - см. соответственно пп.3.9 и 3.10 настоящих Рекомендаций) следует определять по табл.5 СНиП 2.03.01-84.

3.9. Потери предварительного напряжения арматуры в результате развития деформаций от усадки и ползучести бетона рекомендуется определять по табл.2, а в случае, когда срок нагружения конструкции известен заранее, их следует согласно СНиП 2.03.01-84 умножить на коэффициент φ_t .

3.10. Потери предварительного напряжения арматуры от релаксации напряжений, МПа, рекомендуется принимать:

для проволочной арматуры - $0,0012\, \Delta t_s \cdot \sigma_{sp}$; (1)

для стержневой арматуры - $0,001\, \Delta t_s \cdot \sigma_{sp}$, (2)

где Δt_s - разность между температурой арматуры при ее натяжении и при изменении средней температуры Δt_w по сечению элемента в теплое время года, принимаемой согласно п.4.3; σ_{sp} - предварительное напряжение в арматуре, МПа, без учета потерь.

3.11. Нормативное и расчетное сопротивление тяжелого и легкого бетонов следует принимать по СНиП 2.03.01-84 в зависимости от класса бетона по прочности на сжатие. При этом расчетное сопротивление бетона сжатию R_b и растяжению R_{bt} необходимо умножить на коэффициент условий работы бетона соответственно γ_{b7} и γ_{tt} (см.примеч. 3

к табл.3), учитывающие снижение прочности бетона под воздействием солнечной радиации, длительности нагревания, влажности наружного воздуха и массивности конструкции.

Таблица 2

Влажность воздуха наиболее жаркого месяца W, %	Потери предварительного напряжения арматуры, МПа, в бетоне естественного твердения			
	тяжелом и легком на плотном мелком заполнителе от		легком на пористом мелком заполнителе от	
	усадки	ползучести	усадки	ползучести
20 и ниже	70/65	I80/I70	90/85	205/I95
40	65/50	I75/I65	85/80	200/I90
60	60/55	I70/I60	80/75	I95/I85
75 и выше	55/50	I60/I50	75/70	I90/I80

Примечания: I. Перед чертой - для конструкций, не защищенных от солнечной радиации, после черты - для защищенных.

2. Потери от усадки даны для тяжелого бетона класса В40.

Для тяжелого бетона класса В35 и ниже их следует уменьшить на I0 МПа, класса В45 и выше - увеличить на I0 МПа.

Для бетонов, прошедших тепловую обработку -тяжелого классов В35 и ниже и легкого на плотном мелком заполнителе - потери от усадки уменьшают на 5 МПа, для других бетонов - на I0 МПа.

3. При определении потерь от ползучести табличное значение следует умножить на отношение σ_{bp} / R_{bp} (при условии, что оно не превышает 0,75) Сжимающие напряжения в бетоне σ_{bp} определяют на уровне центров тяжести продольной арматуры S и S' с учетом первых потерь.

4. Потери от ползучести для бетонов, прошедших тепловую обработку при атмосферном давлении, следует умножить на 0,85.

5. Для конструкций, изготовляемых в холодное время года, потери от усадки и ползучести следует принимать как для конструкций, защищенных от солнечной радиации.

3.I2. Начальный модуль упругости бетона E_b при сжатии и растяжении следует принимать по СНиП 2.03.0I-84 с умножением на коэффициент условий работы бетона β_b, принимаемый по примеч 3 к табл.3.

3.I3. Коэффициент $\bar{\nu}$, характеризующий упруго-пластическое состояние сжатого бетона при определении приведенного сечения бетона и жесткости сечения элемента без трещин и коэффициент, ν, характеризующий упруго-пластическое состояние бетона сжатой зоны

Таблица 3

Влажность воздуха наиболее жаркого месяца W, %	Стадия работы конструкции (см. п.3.I)	Коэффициент условий работы бетона γ_{b7} на сжатие при h_{red}, см	
		≤ I0	>I0
20 и ниже	Первая	0,75/0,85	0,80/0,90
	Вторая	0,70/0,80	0,75/0,85
40	Первая	0,80/0,90	0,85/0,95
	Вторая	0,75/0,85	0,80/0,90
60	Первая	0,85/0,95	0,90/I,00
	Вторая	0,80/0,90	0,85/0,95
75 и выше	Первая	0,90/I,00	0,95/I,00
	Вторая	0,85/0,95	0,90/I,00

Примечания. I. h_{red} - приведенная высота сечения элемента, характеризующая массивность конструкции и равная площади сечения, деленной на I/2 его периметра, соприкасающегося с воздухом.

2. Перед чертой - для конструкций, не защищенных от солнечной радиации, после черты - защищенных.
3. Коэффициенты γ_{bt} и β_b принимаются на 0,05 меньше, чем коэффициент γ_{b7}.
4. Для конструкций, изготовляемых в холодное время года, коэффициент γ_{b7} принимают как для конструкций, защищенных от солнечной радиации.

железобетонного элемента с трещинами при расчете по деформациям, рекомендуется принимать по табл.4.

Таблица 4

Стадия работы конструкции (см. п.3.I)	Влажность воздуха наиболее жаркого месяца W, %	Коэффициенты, характеризующие упруго-пластическое состояние бетона	
		сжатого $\bar{\nu}$	сжатой зоны ν
Первая	20 и ниже	0,75	0,40
	40	0,80	
	60 и выше	0,85	0,45
Вторая	20 и ниже	0,25	0,I0
	40	0,30	
	60 и выше	0,35	0,I5

Примечания. I. При 60% > W > 20% значение коэффициентов $\bar{\nu}$ и ν

определяют по интерполяции.

2. При расчете для второй стадии работы применительно к условиям попеременного водонасыщения и высыхания значения коэффициентов $\bar{\nu}$ и ν следует разделить на I,2.

3.I4. Предельные деформации от влажностной усадки бетона ε_{cs1} при расчете бетонных и железобетонных конструкций рекомендуется принимать по табл.5.

Таблица 5

Влажность воздуха наиболее жаркого месяца W, %	Предельные деформации усадки $\varepsilon_{cs1} \cdot 10^{-6}$ тяжелого бетона (ОК = I-2 см) для конструкций, не защищенных от солнечной радиации, при расчете для второй стадии работы при h_{red}, см						
	3,5	5	I0	20	30	50	I00 и более
0	800	720	630	585	570	560	550
20	7I0	630	540	490	475	460	445
40	6I5	540	450	400	380	365	340
60	530	450	360	3I0	290	270	240
75	460	380	290	240	220	200	I60
90	390	3I0	220	I70	I60	I55	I50

Примечания. I. h_{red} – см. примечание к табл.3.

2. Деформации усадки следует умножить на:
   - $\frac{1}{0,85}$ – для конструкций из бетона класса ниже В25;
   - $\frac{1}{0,85}$ – для конструкций, защищенных от солнечной радиации;
   - I,2 – для конструкций из легких бетонов;
   - I,I – при ОК = 5-6 см;
   - I,2 – при ОК = I0-I4 см;
   - I,4 – при ОК = I6-24 см.

3. Для промежуточных значений W деформации усадки определяют по интерполяции.

4. Расчет деформаций усадки бетона за заданный период времени может быть произведен по методике прил.I.

5. Для первой расчетной стадии работы деформации бетона от усадки допускается принимать равными 0,5 предельной величины, определенной по прил.I.

3.I5. Для монолитных бетонных и железобетонных конструкций рекомендуется учитывать пластическую **усадку бетона** ε_{sp} в начальный период его твердения, значения которой при условии строгого соблюдения правил производства работ (см. п.I.4 настоящих Рекомендаций) следует принимать по табл.6.

Таблица 6

Влажность воздуха наиболее жаркого месяца W, %	Деформации пластической усадки бетона $\varepsilon_{sp} \cdot 10^{-6}$ при h_{red}, см	
	≤ 10	> 10
20 и ниже	350/200	250/150
40	250/150	150/50
60 и выше	150/ -	-

Примечания: 1. Перед чертой - для конструкций, не защищенных от солнечной радиации, после черты - для защищенных.
2. При бетонировании в осенне-зимний период деформации пластической усадки не учитываются.
3. При бетонировании в весенне-летний период с 17 ч вечера до 9 ч утра деформации пластической усадки принимают как для конструкций, защищенных от воздействия солнечной радиации.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЭЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦИИ

4.1. Распределение температуры по толщине бетонного или железобетонного элемента в результате воздействий жаркого климата при нестационарных условиях теплопередачи и с учетом переменной влажности бетона о п р е д е л я ю т исходя из теории тепло- и массопереноса либо на основе экспериментальных данных.

4.2. Начальную температуру, соответствующую замыканию статически неопределимой конструкции или ее части в законченную систему, рекомендуется определять:

в теплое время года - по формуле $t_{ow} = 0,8\, t_{VII} + 0,2\, t_I$; (3)

в холодное время года - по формуле $t_{oc} = 0,2\, t_{III} + 0,8\, t_I$. (4)

Примечание. При наличии дополнительных сведений (о календарных сроках замыкания конструкции, о порядке производства работ и др.) начальную температуру допускается определять в соответствии с этими данными.

За начальную температуру для статически определимых конструкций рекомендуется принимать температуру их изготовления:

в теплое время года ..... $t_{ow} = t_{VII}$

в холодное время года ..... $t_{oc} = t_I$

4.3. Нормативное изменение во времени средней по сечению элемента температуры и перепада температур соответственно в теплое (Δt_w и V_w) и холодное (Δt_c и V_c) время года для однослойных кон-

струкций следует определять по СНиП 2.01.07-85 "Нагрузки и воздействия" или по формулам (5)-(15), принимая характер распределения температуры по сечению линейным (см. прил.2):

а) для конструкций, не защищенных от солнечной радиации:

в открытых сооружениях и неотапливаемых зданиях (без технологических источников тепла) - по формулам:

$$\Delta t_w = t_{VII} + \theta_1 + \theta_4 + 6\,^{\circ}C - t_{oc}\ ; \qquad (5)$$

$$\Delta t_c = t_I - 0{,}5\theta_1 - 10\,^{\circ}C + t_{ow}\ ; \qquad (6)$$

$$v_w = \theta_5\ ; \qquad v_c = 0\ ; \qquad (7)$$

в зданиях с искусственным климатом или с постоянными источниками тепла - по формулам:

$$\Delta t_w = t_{iw} + 0{,}6\,(t_{VII} - t_{iw}) + \theta_2 + \theta_4 + 4\,^{\circ}C - t_{oc}\ ; \qquad (8)$$

$$\Delta t_c = t_{ic} + 0{,}6\,(t_I - t_{ic}) - 0{,}5\theta_2 - 6\,^{\circ}C - t_{ow}\ . \qquad (9)$$

$$v_w = 0{,}8\,(t_{VII} - t_{iw}) + \theta_3 + \theta_5 + 5\,^{\circ}C\ ; \qquad (10)$$

$$v_c = 0{,}8\,(t_I - t_{ic}) - 0{,}5\theta_3 - 8\,^{\circ}C\ ; \qquad (11)$$

в отапливаемых зданиях:

Δt_w - по формуле (5); Δt_c - по формуле (9); v_w - по формуле (7); v_c - по формуле (11);

б) для конструкций, защищенных от солнечной радиации ($v_w = 0$ и $v_c = 0$):

в неотапливаемых зданиях (без технологических источников тепла - по формулам:

$$\Delta t_w = t_{VII} + 6\,^{\circ}C - t_{oc}\ ; \qquad (12)$$

$$\Delta t_c = t_I - 10\,^{\circ}C - t_{ow}\ ; \qquad (13)$$

в зданиях с искусственным климатом или с постоянными источниками тепла - по формулам:

$$\Delta t_w = t_{iw} - t_{oc}\ ; \qquad (14)$$

$$\Delta t_c = t_{ic} - t_{ow}\ ; \qquad (15)$$

в отапливаемых зданиях:

Δt_w - по формуле (12); Δt_c - по формуле (15).

В формулах (5)-(15):

Δt_w , Δt_c - начальная температура конструкции соответственно в теплое и холодное время года - см. формулы (3) и (4); t_{iw} , t_{ic} -

температура воздуха в помещении соответственно в теплое и холодное время года, принимаемая по ГОСТ I2.I.005-76 или в соответствии со строительным заданием на основе технологических решений; t_I, t_{VII} - многолетняя среднемесячная температура воздуха соответственно для января и июля, принимаемая по СНиП 2.0I.0I-82 или СНиП 2.0I.07-85; θ_1 и θ_2 - приращение средней по сечению элемента температуры под влиянием суточных колебаний температуры наружного воздуха соответственно для неотапливаемых зданий и зданий с искусственным климатом, принимаемые по табл.8; θ_3 - приращение температурного перепада под влиянием суточных колебаний температуры наружного воздуха для зданий с искусственным климатом; θ_4, θ_5 - приращение соответственно средней по сечению элемента температуры и перепада температур под влиянием солнечной радиации, определяемое по формулам:

$$\theta_4 = 0,035\, S_{max} \cdot k \cdot k_1 \; ; \qquad (I6)$$

$$\theta_5 = 0,035\, S_{max} \cdot k\,(1 - k_1) \; , \qquad (I7)$$

где S_{max} - максимальная суммарная (прямая и рассеянная) солнечная радиация. Принимается по СНиП 2.0I.0I-82 в зависимости от положения и ориентации поверхности элемента; k и k_1 - коэффициенты, принимаемые соответственно по табл. 7 и 8.

Таблица 7

Вид и ориентация поверхности	Коэффициент k
Горизонтальная	I,0
Вертикальная с ориентацией на:	
юг	I,0
запад	0,9
восток	0,7

Таблица 8

Толщина элемента, см	Приращения, °С			Коэффициент k_1
	θ_1	θ_2	θ_3	
До I5	8	6	4	0,6
I5-40	6	4	6	0,4
Более 40	2	2	4	0,3

5. РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

5.I. Применительно к условиям жаркого климата расчет рекомендуется производить:

а) для бетонных и железобетонных элементов - по предельным состояниям первой группы (см. п.5.2 настоящих Рекомендаций);

б) для железобетонных элементов - по предельным состояниям второй группы (см. пп.5.3-5.9 настоящих Рекомендаций).

Расчет по прочности

5.2. Расчет бетонных и железобетонных элементов по прочности производится по СНиП 2.03.01-84 и СНиП 2.03.04-84 с учетом влияния условий жаркого климата путем умножения:

расчетного сопротивления бетона сжатию R_b и растяжению R_{bt} на соответствующий коэффициент условий работы конструкции γ_{b7} и γ_{tt}, принимаемый по табл.3 с учетом прил.3;

модуля упругости бетона E_b - на коэффициент β_b, определяемый согласно п.3.12 настоящих Рекомендаций.

Расчет по образованию трещин

5.3. Расчет железобетонного элемента по образованию трещин, нормальных к его продольной оси, от одновременного воздействия нагрузки, температуры и усадки бетона в условиях жаркого климата производят по СНиП 2.03.01-84, принимая усилие N_{crc} и момент M_{crc}, воспринимаемые нормальным сечением, соответственно равными:

$$N_{crc} = (R_{bt,ser} \cdot \gamma_{tt} - \sigma_{cs})(A + 2\alpha \cdot A_s) + P ; \qquad (18)$$

$$M_{crc} = (R_{bt,ser}\gamma_{tt} - \sigma_{cs}) \cdot W_{pl} \pm M_{rp} . \qquad (19)$$

В формулах (18) и (19):

$\alpha = \frac{E_s}{E_b \beta_b}$; σ_{cs} - напряжения от усадки бетона на уровне растянутой арматуры, равные

$$\sigma_{cs} = \left[\varepsilon_{cs} - \varepsilon_{cs,1} - \left(\frac{1}{r}\right)_{cs}(a - y)\right] E_b \cdot \beta_b \cdot \bar{\nu} , \qquad (20)$$

где y - расстояние от центра тяжести приведенного сечения до растянутой грани элемента. Для прямоугольного сечения допускается определять по формуле

$$y = \frac{0{,}5h + \frac{\alpha}{\nu}[\mu \cdot a + \mu'(h - a')]}{1 + \frac{\alpha}{\nu}(\mu + \mu')} ; \qquad (21)$$

W_{pl} - момент сопротивления крайнего растянутого волокна приведенного сечения с учетом неупругих деформаций бетона. Допускается определять по п.4.7 СНиП 2.03.01-84 при $\beta_s = 1$, а также при β_b, принимаемом по примеч.3 к табл.3; ε_{cs} - укорочение оси элемента от усадки бетона, принимаемые по п.5.7 настоящих Рекомендаций; $\varepsilon_{cs,1}$ - деформации от усадки, определяемые согласно табл.5; $\left(\frac{1}{r}\right)_{cs}$ - кривизна оси элемента в результате развития усадочных деформаций бетона, принимаемая по п.5.7 настоящих Рекомендаций. Остальные обозначения в формулах (18) и (20) см. в

СНиП 2.03.01-84.

В статически неопределимых конструкциях момент от действия внешних сил M_r суммируется с моментом, возникающем при одновременном воздействии температуры и усадки бетона и определяемым в соответствии со строительной механикой и с учетом п.3.1 настоящих Рекомендаций.

5.4. Расчет железобетонных элементов по образованию трещин от действия только температуры жаркого климата и усадки бетона производится:

а) для статически определимых конструкций - из условия

$$\sigma_{cs,i} \geq R_{bt,ser} \cdot \gamma_{tt} \quad , \tag{22}$$

где $\sigma_{cs,i}$ - растягивающие напряжения в бетоне по высоте сечения в i -ой части элемента на расстоянии y_{bi} от центра тяжести приведенного сечения, определяемые по формуле

$$\sigma_{cs,i} = \left[\varepsilon_{cs} - \varepsilon_{cs1} + \left(\frac{1}{r}\right)_{cs} \cdot y_{bi}\right] \cdot E_b \cdot \beta_b \cdot \bar{\nu} \quad ; \tag{23}$$

$$y_{bi} = y_i - y \quad ; \tag{24}$$

в формулах (23) и (24): y_i - расстояние от центра тяжести i-й части сечения до растянутой грани элемента; y - см. формулу (21); β_b - коэффициент условий работы бетона, принимаемый по примеч.3 к табл.3; $\bar{\nu}$ - коэффициент упругости бетона, принимаемый по табл.4; ε_{cs}, ε_{cs1}, $\left(\frac{1}{r}\right)_{cs}$ - см. п.5.7 настоящих Рекомендаций.

Для статически определимых конструкций высотой до 30 см и шириной 15 см проверку на наличие усадочных трещин в бетоне допускается производить по табл.9 без расчета.

б) для статически неопределимых железобетонных элементов, закрепленных от продольного перемещения - при условии, что

$$\sigma_{b,st} \geq R_{bt,ser} \gamma_{tt} \quad , \tag{25}$$

где $\sigma_{b,st}$ - напряжения в бетоне, в центре тяжести сечения от температуры и усадки в наиболее холодное время года, равные

$$\sigma_{b,st} = \varepsilon_{t,cs} \cdot E_b \cdot \beta_b \cdot \bar{\nu} \quad , \tag{26}$$

где $\varepsilon_{t,cs}$ - укорочение продольной оси элемента в холодное время года, определяемое по формуле (32).

Таблица 9

Класс бетона по прочности на сжатие	Вид бетона	Предельные деформации бетона от усадки $\varepsilon_{cs1} \cdot 10^{-6}$, вызывающие образование трещин в железобетонных элементах при μ, %		
		0,7	I,0	2,0
BI5	Тяжелый	590/320	460/230	3I0/I40
	Легкий (D = I800 кг/м^3)	670/350	540/270	390/I70
B25	Тяжелый	760/420	580/320	380/I90
	Легкий (D = I800 кг/м^3)	- /470	690/360	490/220
B40	Тяжелый	- /550	730/4I0	460/230
	Легкий (D = I800 кг/м^3)	- /600	- /460	600/280

Примечания. I. Расчет выполнен по формуле (20) при $\bar{\nu}$ = 0,3.
2. Перед чертой - при симметричном армировании сечения, после черты - при одностороннем.

Расчет по раскрытию трещин

5.5. Ширину раскрытия трещин, нормальных к продольной оси железобетонного элемента в условиях жаркого климата определяют по формуле

$$a_{crc} = \delta \cdot \eta \cdot 20 (3{,}5 - 100\mu) \sqrt[3]{d} \left(\varphi_s \frac{\sigma_s}{E_s} + \varepsilon_{sp} + \varepsilon_{cs1} + \Delta t_c \alpha_{bt} \right), \qquad (27)$$

где ε_{sp} - см. п.3.I5 настоящих Рекомендаций; ε_{cs1} - деформации, которые при расчете для первой стадии работы не учитываются, при расчете для второй стадии принимаются по табл.5; Δt_c - см.п.4.3 настоящих Рекомендаций; α_{bt} - коэффициент, принимаемый по табл.I. Остальные обозначения см. в СНиП 2.03.0I-84 (п.4.I4).

Примечание. В формуле (27) температурные деформации $\Delta t_c \cdot \alpha_{bt}$ учитываются только для статически неопределимых конструкций, закрепленных от продольного перемещения.

В расчете по раскрытию трещин статически неопределимых конструкций при определении напряжений в арматуре σ_s для первой стадии работы - необходимо учитывать момент от воздействия только температуры, для второй стадии - момент от одновременного воздействия температуры и усадки.

Расчет по деформациям

5.6. При расчете железобетонных конструкций для первой стадии

(см. п.3.I настоящих Рекомендаций) удлинение оси элемента ε_t и ее кривизну $\left(\frac{1}{r}\right)_t$ под воздействием температуры определяют как для бетонного элемента соответственно по формулам:

$$\varepsilon_t = \Delta t_w \cdot \alpha_{bt} \cdot \gamma_t \quad ; \tag{28}$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_t = \frac{V_w \cdot \alpha_{bt}}{h} \gamma_t \quad . \tag{29}$$

При расчете железобетонных конструкций для второй стадии работы (см. п.3.I настоящих Рекомендаций) изменение длины оси элемента $\varepsilon_{t,cs}$ и ее кривизну $\left(\frac{1}{r}\right)_{t,cs}$ под воздействием температуры и усадки бетона определяют:

в теплое время года - соответственно по формулам:

$$\varepsilon_{t,cs} \quad (\Delta t_w \cdot \alpha_{bt} - \varepsilon_{cs})\gamma_t \quad ; \tag{30}$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{t,cs} = \left[\frac{V_w \cdot \alpha_{bt}}{h} \pm \left(\frac{1}{r}\right)_{cs}\right]\gamma_t \quad ; \tag{31}$$

в холодное время года - соответственно по формулам:

$$\varepsilon_{t,cs} \quad (\Delta t_c \cdot \alpha_{bt} + \varepsilon_{cs}) \cdot \gamma_t \quad ; \tag{32}$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{t,cs} = \left[\frac{V_c \cdot \alpha_{bt}}{h} \pm \left(\frac{1}{r}\right)_{cs}\right]\gamma_t \quad . \tag{33}$$

В формулах (28) и (31): Δt_w, Δt_c, V_w и V_c - см. п.4.3 настоящих Рекомендаций. Для плит, уложенных на грунт Δt_w и Δt_c умножают на 0,5; γ_t - см. п.3.5 настоящих Рекомендаций; α_{bt} - принимают по табл. I. В формулах (30) и (33) ε_{cs} и $\left(\frac{1}{r}\right)_{cs}$ - для железобетонных элементов определяют согласно п.5.7 настоящих Рекомендаций, для бетонных принимают равными: $\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cs1}$; $\left(\frac{1}{r}\right)_{cs} = 0$.

5.7. В статически определимых железобетонных элементах прямоугольного сечения при равномерном распределении деформаций усадки бетона по высоте сечения укорочение оси элемента ε_{cs} и ее кривизну $\left(\frac{1}{r}\right)_{cs}$ определяют соответственно по формулам:

$$\varepsilon_{cs} = \frac{\varepsilon_{cs1}}{1 + \frac{\alpha}{\bar{\nu}}(\mu + \mu')} \quad ; \tag{34}$$

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{cs} = \frac{(0,5h - y)\varepsilon_{cs1}}{0,083h^3 + \frac{\alpha}{\bar{\nu}}\left[\mu(y-a)^2 + \mu'(h-y-a')^2\right]} \quad . \tag{35}$$

В формулах (34) и (35): ε_{cs1} - принимают по табл.5; y и α - определяют соответственно по формуле (21) и согласно п.5.3 настоящих Рекомендаций; $\bar{\nu}$ - принимают по табл.4.

Расчет кривизны элемента от нагрузки

5.8. Кривизну железобетонных элементов определяют:

а) на участках, на которых трещины, нормальные к его продольной оси не образуются - по формулам (I56) и (I57) СНиП 2.03.0I-84, учитывая при этом влияние кратковременной и длительной ползучести с помощью коэффициентов соответственно φ_{b1} и φ_{b2}, принимаемых по табл.I0.

Таблица I0

Влажность воздуха наиболее жаркого месяца W, %	Коэффициенты, учитывающие ползучесть		
	кратковременную φ_{b1} (первая стадия работы) для		длительную φ_{b2} (вторая стадия работы) для
	тяжелого и легкого бетона на плотном мелком заполнителе	легкого бетона на мелком пористом заполнителе	тяжелого и легкого бетонов
20 и ниже	0,75/0,80	0,50/0,65	3,5/3,0
40	0,80/0,85	0,65/0,70	2,5/2,0
60 и выше	0,85/0,85	0,70/0,70	2,0/2,0

Примечания: I. Перед чертой - для конструкций не защищенных от солнечной радиации, после черты - для защищенных.
2. При расчете для второй стадии работы конструкций, эксплуатирующихся в условиях попеременного водонасыщения и высушивания коэффициент φ_{b2} следует умножить на I,2.

б) на участках, где в растянутой зоне образуются трещины, нормальные к продольной оси элемента, - по формуле (I60)СНиП 2.03.0I-84. При этом:

E_b - умножают на коэффициент β_b, принимаемый по примеч.3 к табл.3; $R_{b,ser}$ и $R_{bt,ser}$ - умножают на коэффициенты соответственно γ_{b7} и γ_{bt}, принимаемые по табл.3; $\bar{\nu}$ - принимают по табл.4; α - определяют согласно п.5.3 настоящих Рекомендаций.

Определение прогибов

5.9. Полный прогиб элемента равен сумме прогибов, обусловленных:

а) деформациями от изгиба f_m, вычисленного по формуле (I7I) СНиП 2.03.0I-84, принимая кривизну от нагрузки с учетом п.5.8.

б) деформациями сдвига f_q от нагрузки и под воздействием температуры, определяемого по формуле (I72) СНиП 2.03.0I-84, в которой

параметры φ_{b2} и E_b принимают по п.5.8 настоящих Рекомендаций;

в) деформациями от воздействия температуры и усадки $f_{t,cs}$ равными

$$f_{t,cs} = \left(\frac{1}{r}\right)_{t,cs} \cdot s_2 \cdot l^2 \quad , \qquad (37)$$

где $\left(\frac{1}{r}\right)_{t,cs}$ - кривизна оси элемента от одновременного воздействия температуры и усадки бетона, принимаемая:

при расчете для первой стадии работы в теплое время года - по формуле (29);

при расчете для второй стадии работы

в теплое время - по формуле (31);

в холодное время года - по формуле (33);

l - длина пролета элемента; s_2 - коэффициент, принимаемый равным: для свободно опертых балок $s_2 = 1/8$, для консольных - $s_2 = 1/2$.

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Пример I. Определить изменение средней по сечению температуры в теплое Δt_w и холодное Δt_c время года и соответственно температурные перепады v_w, v_c в стене толщиной 25 см здания, ориентированной на запад.

Исходные данные:

многолетние среднемесячные температуры наружного воздуха в январе и июле - соответственно: $t_I = \pm 0^{\circ}C$; $t_{VII} = 25^{\circ}C$;

максимальное значение суммарной солнечной радиации $s_{max} = 750$ Вт/м^2;

температура воздуха внутри помещения - $t_{ic} = t_{iw} = 20^{\circ}C$.

Приращения: средней по сечению элемента температуры под влиянием суточных колебаний температуры наружного воздуха соответственно в неотапливаемом здании и в здании с искусственным климатом принимаем по табл.8: $\theta_1 = 6^{\circ}C$; $\theta_2 = 4^{\circ}C$;

температурного перепада под влиянием суточных колебаний температуры наружного воздуха для зданий с искусственным климатом $\theta_3 = 6^{\circ}C$ (по табл.8).

Приращения средней температуры по сечению стены θ_4 - по формуле (I6) и температурного перепада θ_5 - по формуле (I7) от солнечной радиации:

$$\theta_4 = 0{,}035 \cdot 750 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}4 \cong 10^{\circ}C \ ;$$

$$\theta_5 = 0{,}035 \cdot 750 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}6 \cong 15^{\circ}C \ ;$$

начальная температура соответственно в теплое t_{ow} и холодное t_{oc} время года:

$$t_{ow} = 0{,}8 \cdot 25^{\circ} = 20^{\circ}C \ ;$$

$$t_{oc} = 0{,}2 \cdot 25^{\circ} = 5^{\circ}C \ .$$

I. Определяем нормативное изменение средней температуры по сечению стены в теплое Δt_w и холодное Δt_c время года

а) в неотапливаемом здании соответственно по формулам (5) и (6):

$$\Delta t_w = 25^{\circ}+6^{\circ}+10^{\circ}+6^{\circ}-5^{\circ} = 42^{\circ}C \ ;$$

$$\Delta t_c = 0^{\circ}-3^{\circ}-10^{\circ}-20^{\circ} = -33^{\circ}C \ ;$$

б) в отапливаемом здании в теплое время года по формуле (5), в холодное время года - по формуле (9)

$$\Delta t_w = 42^{\circ}C \ ;$$

$$\Delta t_c = 20^{\circ}+0{,}6 \cdot (0^{\circ}-20^{\circ})-2^{\circ}-6^{\circ}-20^{\circ} = -20^{\circ}C;$$

в) в здание с искусственным климатом: соответственно по формулам (8) и (9):

$$\Delta t_w = 20^{\circ}+0{,}6 \cdot (25^{\circ}-20^{\circ})+4^{\circ}+10^{\circ}+4^{\circ}-5^{\circ} = 36^{\circ}C \ ;$$

$$\Delta t_c = -20^{\circ}C.$$

2. Определяем температурные перепады ν_w, ν_c по сечению стены

а) в неотапливаемом здании: $\nu_w = \theta_5$, $\nu_c = 0$

нормативное $\nu_w = 15^{\circ}C$;

б) в отапливаемом в зимнее время здании $\nu_w = \theta_5$;

ν_c определяется по формуле (II)

нормативное $\nu_w = 15^{\circ}C$

нормативное $\nu_c = 0{,}8 \cdot (0^{\circ}-20^{\circ})-3^{\circ}-8^{\circ} = -27^{\circ}C$;

в) в здании с искусственным климатом ν_w определяется по формуле (I0), ν_c - по формуле (II)

нормативное $\nu_w = 0{,}8 \cdot (25^{\circ}-20^{\circ})+6^{\circ}+15^{\circ}+5^{\circ} = 30^{\circ}C$;

нормативное $\nu_c = -27^{\circ}C$.

Пример 2. Расчет по прочности, деформациям, образованию и раскрытию трещин плиты покрытия здания, эксплуатируемого в условиях жаркого климата (г.Ташкент).

Исходные данные: железобетонная статически определимая не защищенная от воздействия солнечной радиации плита длиной 3 м (l_0 = 2,8 м), шириной I м, высотой 0,2 м, установленная в покрытии отапливаемого здания (t_{III} = 26,9°С; t_I = -0,9°С; W_{III} = 24%).

Плита изготовлена в построечных условиях из тяжелого бетона класса В25 (R_b = I4,5 МПа; $R_{b,ser}$ = I8,5 МПа; $R_{bt,ser}$ = I,6 МПа; E_b = 30000 МПа), твердевшего в течение 28 сут в нормальных влажностных условиях (ОК = 5-6 см).

Армирование: в растянутой зоне - из стержней периодического профиля (6 Ø IOA-II; R_s = 280 МПа; A_s = 4,7I см^2), в сжатой зоне - в виде сеток 200/250/4/3 (R_{sc} = 365 МПа, A'_s = 0,76 см^2). Модуль упругости арматуры E_s = 2I0000 МПа. В плите создается постоянно действующий момент равный M_r = I6 кН·м, к ее трещиностойкости предъявляются требования 3-й категории. Начало эксплуатации - 3 месяца после набора проектной прочности бетона.

В соответствии с п.3.I производим расчет плиты по прочности - (на длительное попеременное нагревание и охлаждение) и по деформациям, образованию и раскрытию трещин (нагревание до расчетной летней температуры наружного воздуха от первого воздействия температуры жаркого климата и длительное попеременное нагревание и охлаждение).

Расчет по прочности

При W_{III} = 24% и $h_{red} = \frac{bh}{b+h} = \frac{I00 \cdot 20}{I00+20}$ = I6,7 см по табл.3 находим коэффициент γ_{b7} = 0,77.

Определяем высоту сжатой зоны

$$x = \frac{R_s A_s - R_{sc} A'_s}{R_b \cdot \gamma_{b7} \cdot b} = \frac{280 \cdot 4,7I - 365 \cdot 0,76}{I4,5 \cdot 0,77 \cdot I00} = 0,93 \text{ см},$$

и проверяем условие, характеризующее соотношение между относительной высотой сжатой зоны

$$\xi = \frac{x}{h_0} = \frac{0,93}{I7,5} = 0,053 < \xi_R = 0,62$$

и ее граничным значением

$$\xi_R = \frac{\omega}{1 + \frac{R_s}{\sigma_{sc,u}}\left(1 - \frac{\omega}{1,1}\right)} = \frac{0,76}{1 + \frac{280}{400}\left(1 - \frac{0,76}{1,1}\right)} = 0,62,$$

где соответственно $h_0 = 20-2,5=17,5$ см; $a = 2,5$ см; $a' = 2,5$ см;

$$\omega = \alpha - 0,008 \cdot R_b \cdot \gamma_{b7} = 0,85 - 0,008 \cdot 14,5 \cdot 0,77 = 0,76.$$

Данное условие соблюдается $\xi < \xi_R$

Тогда момент M, воспринимаемый плитой, определяем по формуле

$$M = R_b \cdot \gamma_{b7} \cdot b \cdot x \left(h_0 - 0,5 \cdot x\right) + R_{sc} \cdot A_s' \left(h_0 - a'\right) =$$

$$= 14,5 \cdot 0,77 \cdot 100 \cdot 0,93 \cdot (17,5 - 0,5 \cdot 0,93) + 365 \cdot 0,76 \cdot (17,5 - 2,5) =$$

$$= 21,8 \text{ кН·м}.$$

Поскольку $M_r = 16$ кН·м $<$ $M = 21,8$ кН·м.
Условие прочности соблюдается.

Расчет по образованию и раскрытию трещин и по деформациям

А. Первая стадия работы

О б р а з о в а н и е т р е щ и н

При $W_{III} = 24\%$ и $h_{red} = 16,7$ см по табл.3 находим значение коэффициентов $\beta_1 = 0,76$ и $\gamma_{t1} = 0,76$, а по табл.4 и 10 - соответственно коэффициентов $\bar{\nu} = 0,77$, $\nu = 0,4$ и $\varphi_{b1} = 0,77$.

Производим проверку условия образования трещин в следующей последовательности:

$$M_r < M_{crc} \quad ;$$

определяем момент образования трещин, воспринимаемый нормальным сечением

$$M_{crc} = \left(R_{bt,ser} \cdot \gamma_{t1} - \sigma_{cs}\right) W_{pl} \ ,$$

где момент сопротивления крайнего растянутого волокна бетона

$$W_{pl} = \left[0,292 + 0,75(\gamma_f + 2\mu_f \alpha) + 0,075(\gamma_f' + 2\mu_f' \alpha')\right] b \cdot h^2 \ ,$$

принимая для прямоугольного сечения:

$$\gamma_f = \gamma_f' = 0;$$

$$\mu_f = \frac{A_s}{bh} = \frac{4,71}{100 \cdot 20} = 0,0024 \ ;$$

$$\mu_f' = \frac{A_s'}{bh} = \frac{0,76}{100 \cdot 20} = 0,0004 \ ;$$

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b \cdot \beta_b} = \frac{210000}{30000 \cdot 0{,}76} = 9{,}2 \ ;$$

подставив численные значения, получаем

$$W_{pl} = \left[0{,}292+0{,}75 \cdot 2 \cdot 0{,}0024 \cdot 9{,}2+0{,}075 \cdot 2 \cdot 0{,}0004 \cdot 9{,}2\right] \cdot 100 \cdot 20^2 =$$

$$= 13027 \text{ см}^3.$$

Деформацию усадки на третий месяц эксплуатации находим по формуле

$$\varepsilon_{cs\tau} = \varepsilon_{cs1}\left(1 - e^{-\frac{0{,}2\tau}{h_{red}}}\right) \ ,$$

где предельная деформация усадки бетона, определенная по табл 5, равна $\varepsilon_{cs1} = 537{,}35 \cdot 10^{-6}$.

$$\varepsilon_{cs\tau} = 537{,}35 \cdot 10^{-6} \cdot \left(1 - e^{-\frac{0{,}2 \cdot 90}{16{,}7}}\right) = 354{,}5 \cdot 10^{-6}.$$

Напряжения в бетоне на уровне растянутой арматуры от деформаций усадки равны

$$\sigma_{cs} = \left[\varepsilon_{cs} - \varepsilon_{cs1} + \left(\frac{1}{r}\right)_{cs}(a - y)\right] E_b \cdot \beta_b \cdot \bar{\nu} \ ,$$

где $\varepsilon_{cs} = \dfrac{\varepsilon_{cs\tau}}{1 + \frac{\alpha}{\bar{\nu}}(\mu_1 + \mu_1')} = \dfrac{354{,}5 \cdot 10^{-6}}{1 + \frac{9{,}2}{0{,}77}(0{,}0024+0{,}0004)} =$

$$= 343{,}0 \cdot 10^{-6}.$$

Кривизна оси от деформаций усадки

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{cs} = \frac{(0{,}5h - y) \cdot \varepsilon_{cs\tau}}{0{,}083h^2 + \frac{\alpha}{\bar{\nu}}\left[\mu_1(y - a)^2 + \mu_1'(h - y - a')^2\right]} =$$

$$= \frac{(0{,}5 \cdot 20 - 9{,}8) \cdot 354{,}5 \cdot 10^{-6}}{0{,}083 \cdot 20^2 + \frac{9{,}2}{0{,}77}\left[0{,}0024(9{,}8-2{,}5)^2 + 0{,}0004(20-9{,}8-2{,}5)^2\right]} =$$

$$= 2{,}03 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{см}} \ ,$$

где $y = \dfrac{0{,}5h + \frac{\alpha}{\bar{\nu}}\left[\mu_1 \cdot a + \mu_1'(h - a)\right]}{1 + \frac{\alpha}{\bar{\nu}}(\mu_1 + \mu_1')} =$

$$= \frac{0{,}5 \cdot 20 + \frac{9{,}2}{0{,}77}\left[0{,}0024 \cdot 2{,}5 + 0{,}0004(20-2{,}5)\right]}{1 + \frac{9{,}2}{0{,}77}(0{,}0024+0{,}0004)} = 9{,}8 \text{ см}$$

$$\sigma_{cs} = \left[343{,}0-354{,}5+2{,}03(2{,}5-28)\right]\cdot 10^{-6}\cdot 30000\cdot 0{,}76\cdot 0{,}77 =$$
$$= 0{,}46 \text{ МПа}$$

Находим $M_{crc} = (1{,}6\cdot 0{,}76-0{,}46)\cdot 13027 = 9{,}85$ кН·м, которое меньше $M_r = 16$ кН·м; следовательно, условие образования трещин не соблюдается и возникает необходимость в определении ширины раскрытия трещин. Однако, прежде чем приступить к расчету ширины раскрытия трещин, необходимо определить коэффициенты:

$$\varphi_m = \frac{(R_{bt,ser}\cdot \gamma_{tt} - \sigma_{cs})W_{pl}}{M_r} = \frac{9850\cdot 100}{160000} = 0{,}62 ;$$

$$\varphi_s = 1{,}25 - \varphi_{ts}\cdot\varphi_m = 1{,}25 - 1{,}1\cdot 0{,}62 = 0{,}57;$$

$$\delta = \frac{M_r}{b\cdot h_0^2\cdot R_{b,ser}\cdot \gamma_{b7}} = \frac{160000}{100\cdot 17{,}5^2\cdot 18{,}5\cdot 0{,}81\cdot 100} = 0{,}035 ;$$

$$\varphi_f = \frac{\frac{\alpha}{2\nu}A_s'}{bh_0} = \frac{\frac{9{,}2}{2\cdot 0{,}4}\cdot 0{,}76}{100\cdot 17{,}5} = 0{,}005 ;$$

$$\varphi_l = 1$$

$$\lambda = \varphi_f\left(1-\frac{h_f'}{2h_0}\right) = 0{,}005\ \left(1-\frac{2\cdot 2{,}5}{2\cdot 17{,}5}\right) = 0{,}0043 ;$$

$$\xi = \frac{1}{\beta+\frac{1+5(\delta+\lambda)}{10\mu\alpha}} = \frac{1}{1{,}8+\frac{1+5(0{,}035+0{,}0043)}{10\cdot 0{,}0024\cdot 9{,}2}} = 0{,}139 ;$$

тогда

$$z = h_0\left[1-\frac{\frac{2a}{h_0}\varphi_f+\xi^2}{2(\varphi_f+\xi)}\right] = 17{,}5\left[1-\frac{\frac{2\cdot 2{,}5}{17{,}5}\cdot 0{,}005+0{,}139^2}{2(0{,}005+0{,}139)}\right] =$$
$$= 16{,}2 \text{ см} ;$$

а напряжения в арматуре

$$\sigma_s = \frac{M_r}{A_s z} = \frac{160000}{4{,}71\cdot 16{,}2\cdot 100} = 210 \text{ МПа} .$$

Ширина раскрытия трещин

$$a_{crc} = \delta \cdot \eta \cdot 20 \cdot (3{,}5 - 100\mu) \sqrt[3]{d} \left(\varphi_1 \frac{\sigma_s}{E_s} + \varepsilon_{cs1} \right) =$$

$$= 1 \cdot 1 \cdot 20 \cdot (3{,}5 - 100 \cdot 0{,}0024) \sqrt[3]{10} \left(1 \cdot \frac{210}{210000} + 354{,}5 \cdot 10^{-6} \right) =$$

$$= 0{,}19 \text{ мм (находится в допустимых пределах).}$$

Деформации:

кривизна плиты под воздействием момента M_r –

$$\left(\frac{1}{r}\right)_f = \frac{M_r}{h_0 \cdot z} \left[\frac{\varphi_s}{E_s \cdot A_s} + \frac{\varphi_b}{(\varphi_f + \xi) b h_0 E_b \beta_b \nu} \right] =$$

$$= \frac{1600000}{17{,}5 \cdot 16{,}2 \cdot 100} \left[\frac{0{,}57}{210000 \cdot 4{,}71} + \right.$$

$$\left. + \frac{0{,}9}{(0{,}005 + 0{,}139) \cdot 100 \cdot 17{,}5 \cdot 30000 \cdot 0{,}76 \cdot 0{,}4} \right] = 54{,}6 \cdot 10^{-6} \text{ см}^{-1};$$

кривизна плиты от неравномерной усадки бетона –

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{cs} = 2{,}03 \cdot 10^{-6} \text{ см}^{-1}.$$

Тогда:

прогиб плиты от нагрузки будет равен

$$f_f = 54{,}6 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{5}{48} \cdot 280^2 = 0{,}4 \text{ см},$$

а прогиб от усадки –

$$f_{cs} = 2{,}03 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{5}{48} \cdot 280^2 = 0{,}02 \text{ см}.$$

Следовательно, полный прогиб плиты

$$f = 0{,}4 + 0{,}02 = 0{,}42 \text{ см, т.е. меньше допустимого}$$

Б. Вторая стадия работы

Образование трещин

При $W_m = 24\%$ и $h_{red} = 16{,}7$ см находим:
из табл.3 - коэффициенты $\gamma_{b7} = 0{,}76$, $\beta_b = 0{,}71$ и $\gamma_{tt} = 0{,}71$;
из табл.4 - коэффициенты $\bar{\nu} = 0{,}26$ и $\nu = 0{,}1$;
из табл.10- коэффициент $\varphi_{b2} = 3{,}2$;
из табл.5 - деформаций усадки $\varepsilon_{cs1} = 537{,}35 \cdot 10^{-6}$;
из табл.2 - коэффициент $\alpha_{bt} = 10 \cdot 10^{-6}$ °C^{-1}.

Проверяем условие образования трещин. Расчет ведем в следующей последовательности:

а) находим

$$\alpha = \frac{210000}{30000 \cdot 0,71} = 9,9 ;$$

$$W_{pl} = \left[0,292+0,75 \cdot 2 \cdot 0,0024 \cdot 9,9+0,075 \cdot 2 \cdot 0,0004 \cdot 9,9 \right] \times$$

$$\times 100 \cdot 20^2 = 13129 \text{ см}^3 ;$$

б) по формуле (21) определяем расстояние от центра тяжести приведенного сечения до наименее нагретой грани

$$y = \frac{0,5 \cdot 20 + \frac{9,9}{0,26} \left[0,0024 \cdot 2,5+0,0004 \cdot (20-2,5) \right]}{1 + \frac{9,9}{0,26} \cdot (0,0024+0,0004)} = 9,5 \text{ см} ;$$

в) по формуле (34) - укорочение продольной оси плиты

$$\varepsilon_{cs} = \frac{537,35 \cdot 10^{-6}}{1 + \frac{9,9}{0,26} \cdot (0,0024+0,0004)} = 486 \cdot 10^{-6} ;$$

г) по формуле (35) - ее кривизну

$$\left(\frac{1}{r} \right)_{cs} = \frac{(0,5 \cdot 20-9,5) \cdot 537,35 \times}{0,083 \cdot 20^2 + \frac{9,9}{0,26} \cdot \left[0,0024 \cdot (9,5-2,5)^2+0,0004 \times \right.} -$$

$$- \frac{\times 10^{-6}}{\left. \times (20-9,5-2,5)^2 \right]} = 6,95 \cdot 10^{-6} \text{ см}^{-1};$$

д) по формуле (20) - напряжения в бетоне на уровне растянутой арматуры от деформаций усадки

$$\sigma_{cs} = \left[486-537,35-6,95(9,5-2,5) \right] \cdot 10^{-6} \cdot 30000 \cdot 0,71 \cdot 0,26 =$$

$$= 0,55 \text{ МПа} ;$$

е) по формуле (19) - момент образования трещин

$$M_{crc} = (1,6 \cdot 0,71-0,55) \cdot 13129 = 7,7 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Поскольку $M_r = 16$ кН·м > $M_{crc} = 7,7$ кН·м, следовательно условие трещиностойкости не обеспечивается.

Для определения ширины раскрытия трещин предварительно находим:

$$\varphi_m = \frac{(1{,}6\cdot 0{,}71 - 0{,}55)\cdot 13129 \cdot 100}{1600000} = 0{,}48 ;$$

$$\varphi_s = 1{,}25 - 0{,}8\cdot 0{,}48 = 0{,}87 ;$$

$$\delta = \frac{1600000}{100\cdot 17{,}5^2\cdot 18{,}5\cdot 0{,}76\cdot 100} = 0{,}04 ;$$

$$\varphi_f = \frac{\frac{9{,}9}{2\cdot 0{,}1}\cdot 0{,}76}{100\cdot 17{,}5} = 0{,}02 ;$$

$$\lambda = 0{,}02\cdot\left(1 - \frac{2\cdot 2{,}5}{2\cdot 17{,}5}\right) = 0{,}02 ;$$

$$\zeta = \frac{1}{1{,}8 + \frac{1+5\cdot(0{,}04+0{,}02)}{10\cdot 0{,}0024\cdot 9{,}9}} = 0{,}14 ;$$

$$z = 17{,}5\left/1 - \frac{\frac{2\cdot 2{,}5}{17{,}5}\cdot 0{,}02 + 0{,}14^2}{2\cdot(0{,}02+0{,}14)}\right. = 16{,}1 \text{ см},$$

а затем напряжения в арматуре

$$\sigma_s = \frac{1600000}{4{,}71\cdot 16{,}1\cdot 100} = 211 \text{ МПа} .$$

Для определения ширины раскрытия трещин от длительного момента M_r и условий жаркого климата предварительно находим значение коэффициента

$$\varphi_l = 1{,}6 - 15\mu = 1{,}6 - 15\cdot 0{,}0024 = 1{,}56.$$

Тогда

$$a_{crc} = 1\cdot 1\cdot 20(3{,}5 - 100\cdot 0{,}0024)\sqrt[3]{10}\left(\frac{211}{210000}\cdot 1{,}56 + 486\cdot 10^{-6}\right) =$$

$= 0{,}29$ мм $< 0{,}3$ мм, т.е. находится в допустимых пределах.

Для определения прогиба плиты необходимо предварительно определить ее кривизну под воздействием момента M

$$\left(\frac{1}{r}\right)_f = \frac{1600000}{17{,}5\cdot 16{,}1\cdot 100}\left/\frac{0{,}87}{210000\cdot 4{,}71} + \right.$$

$$+ \left.\frac{0{,}9}{(0{,}02+0{,}14)\cdot 100\cdot 17{,}5\cdot 30000\cdot 0{,}71\cdot 0{,}1}\right/ = 135\cdot 10^{-6} \text{ см}^{-1}.$$

В результате, прогиб плиты от нагрузки

$$f_f = 135{,}6 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{5}{48} \cdot 280^2 = 1{,}11 \text{ см},$$

а ее кривизна от неравномерной усадки бетона -

$$\left(\frac{1}{r}\right)_{cs} = 6{,}95 \cdot 10^{-6} \text{ см}^{-1}.$$

Поскольку в летний период перепад температур по сечению элемента вызывает уменьшение кривизны, а следовательно, и прогиба, в расчете температурную кривизну можно не учитывать.

Для определения кривизны элемента в зимнее время года необходимо предварительно по формуле (11) определить температурный перепад

$$v_c = 0{,}8 \cdot (-0{,}9 - 20) - 0{,}5 \cdot 5 - 8 = -27{,}22^{\circ}\text{C}.$$

Тогда кривизна будет равна

$$\left(\frac{1}{r}\right)_t = \frac{\alpha_{bt} \cdot v_c}{h} f_t = \frac{10 \cdot 10^{-6} \cdot 27{,}22}{20} \cdot 1 = 13{,}6 \cdot 10^{-6} \text{ см}^{-1}.$$

Следовательно, под влиянием климатических воздействий прогиб плиты составит

$$f_f = \left[\left(\frac{1}{r}\right)_t + \left(\frac{1}{r}\right)_{cs}\right] \cdot s \cdot l^2 = (13{,}6 + 6{,}95) \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{8} \cdot 280^2 = 0{,}2 \text{ см},$$

а ее полный прогиб

$$f = 1{,}11 + 0{,}2 = 1{,}31 \text{ см} < 1{,}5 \text{ см},$$

т.е. меньше допустимого.

РАСЧЕТ ДЕФОРМАЦИЙ УСАДКИ БЕТОНА ЗА ЗАДАННЫЙ ПЕРИОД ВРЕМЕНИ

Деформации усадки бетона за время τ, сут, определяют по формуле

$$\varepsilon_{cs\tau} = \varepsilon_{cs1} \cdot \left(1 - e^{\frac{-0,2\tau}{h_{red}}}\right), \qquad (I)$$

где ε_{cs1} - предельные деформации усадки бетона, определяемые по табл.5 или по формуле (2); h_{red} - приведенная высота сечения, определяемая по табл.3.

При выполнении расчетов на ЭВМ ε_{cs1} определяют по формуле

$$\varepsilon_{cs1} = \beta \cdot W \cdot \gamma, \qquad (2)$$

где W - расчетное изменение относительной влажности бетона элемента, определяемое по формуле

$$W = W_{cr} - W_m, \qquad (3)$$

в которой W_{cr} - относительная критическая влажность бетона, равная

$$W_{cr} = \left(180 + \frac{300}{h_{red}}\right) \cdot 10^{-4}; \qquad (4)$$

W_m - средняя относительная влажность бетона, равная

$$W_m = (0,0025 h_{red} + 1,5)\,\varphi \cdot 10^{-4}, \qquad (5)$$

где φ - относительная влажность воздуха наиболее жаркого месяца, %; β - коэффициент усадки бетона, принимаемый равным:

0,03 - для тяжелого бетона естественного твердения;

0,025- для тяжелого бетона, прошедшего тепловую обработку;

0,035- для легких бетонов;

γ - коэффициент, учитывающий осадку конуса a, см, бетонной смеси, равный

$$\gamma = 1 + 0,017 \cdot a. \qquad (6)$$

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЭЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦИИ

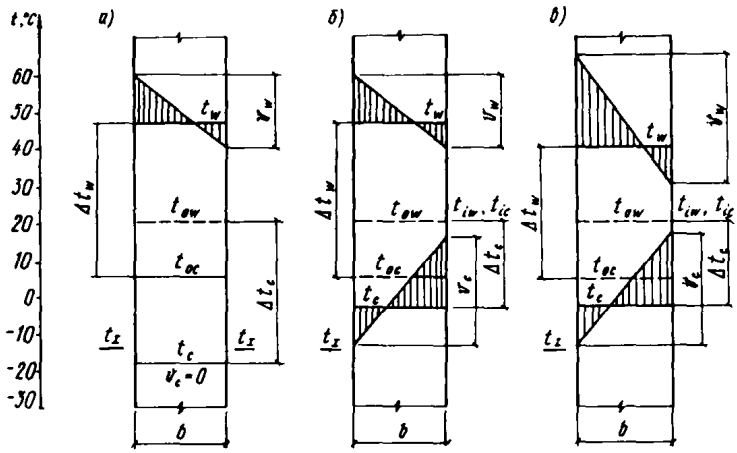
Основными климатическими факторами, оказывающими влияние на изменение температуры конструкций, являются температура наружного воздуха и солнечная радиация. Можно выделить два периодических изменения: годовое ("зима-лето") и суточное ("день-ночь"). Под влиянием изменения температуры воздуха и интенсивности солнечной радиации температурное поле конструкций непрерывно изменяется во времени. При этом распределение температуры по сечению элемента в любой момент времени носит нелинейный характер. В статических расчетах температурное поле конструкции рассматривается, исходя из наиболее неблагоприятных моментов. При этом нестационарное температурное поле сводится к эквивалентному стационарному. Считается, что в пределах любого сечения распределение температуры происходит по линейному закону и только в одном направлении. В перпендикулярном направлении оно может рассматриваться независимо.

Линейную температурную эпюру можно разбить на две части, одна из которых будет иметь вид прямоугольника (вызывает удлинение или укорочение элемента), а другая - вид треугольника (вызывает искривление оси без изменения ее длины).

Конструкции, напряженно-деформированное состояние которых от температурных климатических воздействий определяется, главным образом, осевыми температурными деформациями (например, конструкций каркаса здания), следует расчитывать исходя из изменения температуры во времени между начальной (t_{ow}, t_{oc}) и средней по сечению элемента (t_w, t_c) температурой соответственно в теплое и холодное время года, т.е.:

$$\Delta t_w = t_w - t_{oc} \; ; \quad \Delta t_c = t_c - t_{ow} \; .$$

Для учета неравномерности распределения температуры по сечению элемента например, в ограждающих конструкциях здания, их следует рассчитывать, исходя из наибольшей разности между температурой наружной и температурой внутренней поверхности элемента (температурный перепад) для теплого v_w и холодного v_c времени года. При этом распределение температуры по сечению допускается принимать линейным.



Изменение во времени средней температуры Δt_w, Δt_c и перепада температур v_w, v_t соответственно в теплое и холодное время года по сечению вертикальной стены из легкого бетона толщиной b = 25 см в неотапливаемом (а), отапливаемом (б) здании и в здании с искусственным климатом (в)

Изменение средней по сечению элемента температуры соответственно в теплое Δt_w и холодное Δt_c время года для климатического района IУ приведены в табл.II.

Таблица II

Тип здания	Климатический район по СНиП 2.01-01-82	Δt_w, Δt_c в зависимости от толщины элемента, см, при его положении					
		горизонтальном			вертикальном		
		I5	I5-40	40	I5	I5-40	40
Неотапливаемое	IУА	60 / -40	50 / -40	45 / -35	55 / -40	50 / -40	40 / -35
	IУБ	50 / -25	40 / -20	30 / -20	45 / -25	35 / -20	30 / -20
	IУВ	55 / -25	40 / -25	35 / -25	50 / -25	40 / -25	35 / -25
	IУГ	60 / -45	50 / -45	45 / -45	55 / -45	45 / -45	40 / -45
Отапливаемое	IУА	60 / -25	50 / -25	45 / -25	55 / -25	50 / -25	40 / -25
	IУБ	50 / -I5	40 / -I0	40 / -I0	45 / -I5	35 / -I0	30 / -I0
	IУВ	55 / -I5	40 / -I5	35 / -I5	50 / -I5	40 / -I5	35 / -I5
	IУГ	60 / -25	50 / -25	45 / -25	55 / -25	50 / -25	40 / -25
С искусственным климатом	IУА	55 / -25	45 / -25	40 / -25	45 / -25	40 / -25	40 / -25
	IУБ	45 / -I5	35 / -I0	30 / -I0	35 / -I5	30 / -I0	30 / -I0
	IУВ	45 / -I5	35 / -I5	35 / -I5	40 / -I5	35 / -I5	35 / -I5
	IУГ	55 / -25	45 / -25	40 / -25	50 / -25	45 / -25	40 / -25

Примечания: I. Расчеты выполнены по методике СНиП 2.01.07-85: над чертой Δt_w, под чертой Δt_c.

2. Для отапливаемых зданий и зданий с искусственным климатом температура воздуха в помещении $t_{iw} = t_{ic} = 20$ °С. При значительных отклонениях t_{iw} и t_{ic} от 20°С параметры Δt_w, Δt_c следует определять в соответствии с пп.4.I-4.3 настоящих Рекомендаций.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
I. Основные положения	4
2. Материалы	
Бетон	4
Арматура	6
3. Расчетные требования	6
4. Определение изменений температуры в элементах конструкции	I2
5. Расчет элементов бетонных и железобетонных конструкций	I4
Расчет по прочности	I5
Расчет по образованию трещин	I5
Расчет по раскрытию трещин	I7
Расчет по деформациям	I7
Расчет кривизны элемента от нагрузки	I9
Определение прогибов	I9
Примеры расчета	20
Приложение I. Расчет деформаций усадки бетона за заданный период времени	30
Приложение 2. Методика расчета изменения температуры в элементах конструкции	3I

НИИЖБ Госстроя СССР

Рекомендации по проектированию
бетонных и железобетонных конструкций
для жаркого климата

Отдел научно-технической информации НИИЖБ
I09389, Москва, 2-я Институтская ул., д.6

Редактор Т.В.Филиппова

Подписано в печать
Формат 60x84/I6. Ротапринт. Уч.изд.л. - 2.
Т - 300 экз.

Заказ № 658
Усл.кр.-отт. - 2
Цена 30 коп.

Типография ПЭМ ВНИИИС Госстроя СССР
I2747I, Москва, Можайское шоссе, д.25

gost.e-ecolog.ru