НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ГОССТРОЯ СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО УЧЕТУ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ДЕФОРМАЦИЙ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ

КИЕВ — 1973

gost.e-ecolog.ru

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ГОССТРОЯ СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО УЧЕТУ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ДЕФОРМАЦИЙ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ

КИЕВ — 1973

УДК 69.022/025.058.2(083.I)

Даны рекомендации по расчету конструкций из автоклавных ячеистых бетонов с учетом реальных температурно-влажностных условий эксплуатации конструкций. Такой расчет дает возможность более полно, по сравнению с существующими методами, отразить особенности эксплуатации ячеистобетонных конструкций.

Рекомендации разработаны в лаборатории конструкций из силикатных бетонов НИИСК Госстроя СССР (инж.Крумелис Ю.В. и канд.техн.наук Скатынский В.И.) и предназначены для проектировщиков и научных сотрудников.

Отзывы и замечания просим направлять по адресу: Киев-37, ул.Преображенская, 5/2, НИИСК Госстроя СССР, лаборатория конструкций из силикатных бетонов.

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Настоящие Рекомендации распространяются на проектирование сжатых и изгибаемых однослойных конструкций из ячеистых автоклавных бетонов, выполняемых без предварительного напряжения.

I.2. Приведенные в Рекомендациях методы учета влияния температуры и влажности на деформации конструкций разработаны с учетом расчетных методик, вошедших в "Руководство по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из ячеистых бетонов" (проект), подготовленное НИИЖБ и ЦНИИСК, и в "Технические условия по применению ячеистых бетонов в ограждающих и несущих конструкциях жилых и общественных зданий" (проект), подготовленные ЛенЗНИИЭП. Формулы и таблицы, заимствованные из Руководства, отмечены звездочкой *, из ТУ - двумя звездочками **.

I.3. В соответствии с Руководством принимаем следующую классификацию основных видов ячеистых автоклавных бетонов (табл.I-3).

I. Автоклавные ячеистые бетоны на цементном, шлаковом или смешанном вяжущем и кремнеземистом компоненте - кварцевом песке.

II. Автоклавные ячеистые бетоны на известковом вяжущем и кварцевом песке: на цементном, шлаковом и смешанном вяжущем и кремнеземистом компоненте - золе.

I.4. В связи со значительным влиянием температуры и влажности на развитие деформаций ячеистобетонных конструкций при определении деформаций сжатых и изгибаемых элементов следует учитывать средние расчетные температуру T и влажность W бетона конструкции.

I.5. Величины W и T условимся принимать как средние

влажность и температуру бетона конструкции за первые 2 года ее эксплуатации, в течение которых происходит основной прирост деформаций. Расчетные влажность и температура конструкции зависят от начальной влажности бетона, влажности и температуры среды, в которой конструкция эксплуатируется, от вида конструкции (стены, перекрытия, покрытия и т.д.) и определяются на основании теплотехнических расчетов или обобщения данных натурных обследований.

I.6. В случае отсутствия необходимых данных величины W и Т могут быть ориентировочно определены следующим способом:

а) средняя расчетная температура для ограждающих конструкций определяется как среднеарифметическое расчетной температуры внутреннего воздуха и средней годовой температуры наружного воздуха; для внутренних конструкций принимается равной расчетной температуре внутреннего воздуха;

б) средняя расчетная влажность принимается по табл.I.

Таблица I

Средняя расчетная влажность ячеистых бетонов
(по массе)

Технология изготовления	Виды ячеистого бетона	Средняя расчетная влажность, проц.	
		для стен и междуэтажных перекрытий	для покрытий
Литьевая	I	I6	I8
	II	22	25
Вибрационная	I	II	I3
	II	I7	20

2. УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВЛАЖНОСТИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ДЕФОРМАЦИЙ СЖАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

2.I. Определение величины полных относительных деформаций сжатия (без учета усадки) при длительном приложении нагрузки, включающей кратковременные деформации и деформации ползучести, следует производить при модуле деформаций бетона

$$E = \frac{E_б}{m_{дп}} \quad . \qquad (I)^*$$

2.2. Входящий в формулу (I) начальный модуль упругости бетона $E_б$ принимается по табл.2.

Таблица 2*

Начальные модули упругости ячеистого бетона

Проектная марка ячеистого бетона по прочности на сжатие	Начальные модули упругости, кгс/см², для ячеистого бетона вида	
	I	II
I50	I00000	80000
I00	75000	60000
75	50000	40000
50	38000	30000
35	25000	20000
25	I7000	I4000
I5	I2000	I0000

2.3. Коэффициент $m_{дл}$ формулы (I), учитывающий влияние длительного действия нагрузки на деформации бетона

$$m_{дл} = I + \varphi_{\infty}(T, W), \qquad (2)^*$$

где $\varphi_{\infty}(T, W)$ - предельная величина характеристики ползучести ячеистого бетона с влажностью W и температурой T.

2.4. Величину $\varphi_{\infty}(T, W)$ рекомендуется определять по формуле

$$\varphi_{\infty}(T, W) = \varphi_{\infty} \cdot m_{\varphi}, \qquad (3)^*$$

где φ_{∞} - предельная величина характеристики ползучести ячеистого бетона для температурно-влажностных условий, принимаемых за средние (влажность бетона по массе 8%, температура - 20^0С). Величина φ_{∞} принимается по опытным данным или по табл.3.

Таблица 3*

Предельные величины характеристик ползучести ячеистого бетона φ_{∞}

№ п.п	Объемная масса, кг/м³	Проектная марка	Вид бетона	
			I	II
I	600–900	25–50	I,5	2,0
2	I000–I200	75–I50	2,0	2,5

2.5. Коэффициент m_{φ} формулы (3), учитывающий влияние влажности и температуры на величину деформаций ползучести, принимается по табл.4 или определяется по формуле

$$m_{\varphi} = \eta(W) \cdot \eta(T), \qquad (4)$$

где $\eta(W)$ и $\eta(T)$ – безразмерные функции, учитывающие соответственно влияние влажности и температуры на развитие деформаций ползучести.

2.6. Коэффициент $\eta(W)$ формулы (4)

$$\eta(W) = 1{,}55 - 1{,}13 e^{-0{,}09 \text{ проц}^{-1} W}, \qquad (5)$$

где W – влажность бетона в проц. по массе.

2.7. Коэффициент $\eta(T)$ формулы (4)

$$\eta(T) = \sum_{i=1}^{4} a_n (T + 273^{\circ}C)^n, \qquad (6)$$

где T – температура бетона конструкции, град.С;

$a_4 = 0{,}095 \cdot 10^{-8}$ град$^{-4}$; $a_3 = -0{,}247 \cdot 10^{-6}$ град$^{-3}$;

$a_2 = -0{,}216 \cdot 10^{-4}$ град$^{-2}$; $a_1 = 0{,}703 \cdot 10^{-2}$ град$^{-1}$.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛНЫХ ПРОГИБОВ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА БЕТОНА

3.I. Полная величина прогибов с учетом длительного воздействия нагрузки

$$f = f_1 + f_2(\theta - 1), \qquad (7)^{**}$$

где f_1 – прогиб от кратковременного действия всей нагрузки;

f_2 – прогиб начальный (кратковременный) от длительно действующей части нагрузки;

Таблица 4

Коэффициенты m_φ, учитывающие влияние влажности и температуры на величину деформаций ползучести ячеистых бетонов

Температурный режим конструкции, град.С	Значения m_φ при влажности бетона по массе, проц.								
	2	5	8	I0	I2	I5	20	25	50
-20	0,I7	0,24	0,29	0,3I	0,34	0,36	0,39	0,4I	0,44
-I0	0,25	0,34	0,4I	0,44	0,47	0,5I	0,55	0,68	0,63
0	0,34	0,47	0,56	0,6I	0,65	0,70	0,76	0,80	0,86
I0	0,48	0,63	0,75	0,82	0,88	0,95	I,03	I,08	I,I6
20	0,60	0,82	I,00	I,08	I,I6	I,25	I,34	I,42	I,58
30	0,78	I,06	I,28	I,40	I,50	I,6I	I,75	I,84	I,97
40	0,99	I,35	I,63	I,78	I,90	2,04	2,22	2,33	2,50
50	I,23	I,68	2,03	2,22	2,37	2,56	2,77	2,9I	3,I3

Таблица 5

Величина предельных характеристик ползучести φ^c_∞

φ_∞	Значения φ^c_∞ при $\alpha M'_x$											
	0	0,05	0,I0	0,I5	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80	I,00
I,0	I,0	0,93	0,87	0,82	0,77	0,73	0,69	0,62	0,57	0,52	0,45	0,39
I,5	I,5	I,38	I,27	I,I8	I,II	I,04	0,98	0,87	0,77	0,72	0,6I	0,58
2,0	2,0	I,82	I,66	I,53	I,42	I,32	I,23	I,09	0,97	0,88	0,74	0,63
2,5	2,5	2,24	2,03	I,86	I,70	I,57	I,46	I,28	I,I3	I,0I	0,84	0,7I
3,0	3,0	2,66	2,39	2,I6	I,97	I,80	I,67	I,44	I,26	I,I3	0,92	0,77

θ – коэффициент увеличения длительного прогиба, зависящий от характеристики ползучести и параметров температурно-влажностного режима бетона конструкции.

3.2. Коэффициент θ, входящий в формулу (7), определяется по номограмме (см.рисунок) в зависимости от величины предельной характеристики ползучести и средних расчетных температуры и влажности бетона конструкции.

3.3. Средние расчетные температура T и влажность W бетона конструкции определяются в соответствии с пп.I.5; I.6.

3.4. Величина предельной характеристики ползучести принимается:

а) для элементов, имеющих одиночное армирование, согласно п.2.2;

б) для элементов с армированием сжатой зоны – по данным табл.5 или по формуле

$$\varphi_{\infty}^{c} = \frac{1}{n_a \mu_x'} \left(1 - e^{-\xi_x \varphi_{\infty}}\right), \qquad (8)$$

где φ_{∞} принимается согласно п.2.2;

$$n_a = \frac{E_a}{E_б}; \qquad (9)$$

$$\xi_x = \frac{n_a \mu_x'}{1 + n_a \mu_x'}; \qquad (10)$$

$$\mu_x' = \frac{F_a'}{b \cdot \xi_0^c \cdot h_0}. \qquad (11)$$

3.5. Относительную высоту сжатой зоны ξ_0^c, входящую в формулу (II), следует определять с учетом влияния сжатой арматуры

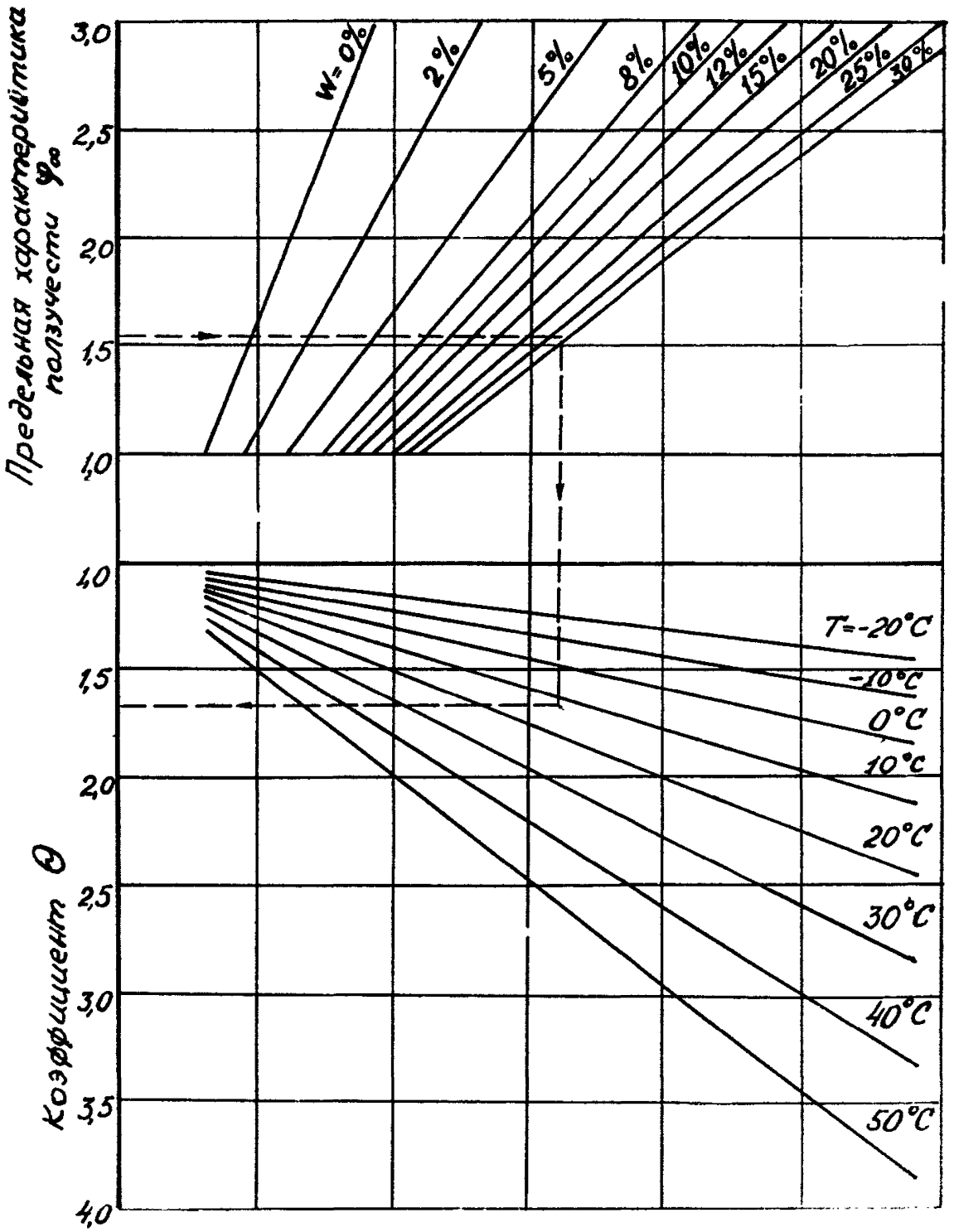
$$\xi_0^c = -n_c(\mu_0 + \mu_0') + \sqrt{n_c^2(\mu_0 + \mu_0')^2 + 2n_c\left(\mu_0 + \mu_0'\delta'\right)\frac{\varphi_a}{\varphi_б}}, \qquad (12)$$

где

$$\mu_0 = \frac{F_a}{b h_0}; \qquad (13)$$

$$\mu_0' = \frac{F_a'}{b h_0}; \qquad (14)$$

$$\delta' = \frac{a'}{h_0}; \qquad (15)$$



Номограмма для определения коэффициента θ .

$$n_c = \frac{E_a}{E_б} \cdot \frac{\psi_б}{\psi_a} \,, \qquad (16)$$

3.6. В формулах (8)-(16) приняты обозначения:

E_a – модуль упругости арматуры;

$E_б$ – начальный модуль упругости бетона (принимается по табл.2);

F'_a – площадь арматуры растянутой зоны сечения;

F_a – площадь арматуры сжатой зоны сечения;

h_0 – рабочая высота сечения;

b – ширина прямоугольного сечения;

a' – расстояние от наиболее сжатого края сечения элемента до равнодействующей усилий в арматуре F'_a.

3.7. Коэффициент $\psi_б$ формулы (16), учитывающий неравномерность распределения деформаций крайнего волокна сжатой грани сечения на участке между трещинами, принимается равным 0,7.

3.8. Коэффициент ψ_a формулы (16), учитывающий работу растянутого бетона между трещинами

$$\psi_a = 1 - 0{,}7 \frac{M_{бт}}{M}, \qquad (17)^*$$

где $M_{бт} = 0{,}292 b h^2 R_p^н$; $\qquad (18)^*$

h – высота прямоугольного сечения;

$R_p^н$ – нормативное сопротивление бетона осевому растяжению.

3.9. Величины прогибов от кратковременного действия нагрузки для элементов, работающих в стадии эксплуатации с трещинами, определяются по формуле

$$f = S l_0^2 \frac{M_н}{B_0} \,, \qquad (19)$$

где l_0 – расчетный пролет изгибаемого элемента;

$M_н$ – момент от нормативных нагрузок;

B_0 – жесткость элемента при кратковременном нагружении;

S – коэффициент, зависящий от характера загружения.

3.10. Величина коэффициента S для свободно лежащей балки на двух опорах составляет:

При равномерно распределенной нагрузке 5/48
При сосредоточенном грузе, приложенным в середине пролета I/I2
При двух равных сосредоточенных силах, приложенных в третях пролета 23/2I6
При трех равных сосредоточенных силах, приложенных через четверть пролета I9/I92
При двух равных моментах, приложенных по концам (чистый изгиб) I/8

3.II. Начальная жесткость изгибаемого ячеистобетонного элемента

$$B_0 = \frac{E_a}{\varphi_a} F_a h_0^2 (1 - \xi_0)\left(1 - \frac{\xi_0}{3}\right). \qquad (20)$$

3.I2. Относительная высота сжатой зоны ξ_0, входящая в формулу (20), составляет:

а) для элементов с одиночным армированием

$$\xi_0 = n_c \mu_a \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2}{n_c \mu_a}}\right); \qquad (21)$$

б) для элементов с армированием сжатой зоны

$$\xi_0^c = n_c^c \mu_a \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2}{n_c^c \mu_a}}\right), \qquad (21а)$$

где

$$n_c^c = \frac{E_a}{E_\delta^c} \cdot \frac{\varphi_\delta}{\varphi_a}, \qquad (22)$$

$$E_\delta^c = E_\delta \cdot (1 + n_a \mu_x'). \qquad (23)$$

4. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Пример I. Определить полную деформацию газобетонной однослойной стеновой панели жилого дома. Толщина панели 24 см, $\gamma_{сух}$ = 700 кг/м^3, проектная марка 35. Район – Ленинград. Начальная влажность конструкции – 23% [1]. Влажность конструкции после двух лет эксплуатации – 9% [2].

---

1) Брайнина Е.Ю. Динамика влажности крупнопанельных газобетонных стен. В сб. № 2 ЦНИИЭПжилища "Теплотехнические качества и микроклимат крупнопанельных жилых зданий". М., Стройиздат, I968.
2) То же.

Расчет. Определяем нагрузку от междуэтажного перекрытия и собственного веса панели – 13 кг/см^2.

По табл.2 и 3 определяем $E_б$ = 25000 кг/см^2 и φ_∞ = 2,0.

Средняя расчетная влажность W = 16%.

Расчетная температура внутреннего воздуха, принимаемая по нормам проектирования соответствующих зданий, 18°С. Средняя годовая температура наружного воздуха (по СНиП II-А. 6-62) + 4,2°С. Средняя расчетная температура

$$T \cong 11^\circ C.$$

Из табл.4 по соответствующим значениям W = 16% и T = 11°С с помощью интерполяции определяем величину коэффициента m_φ = 1,0.

Таким образом, полная деформация панели

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{\frac{E_б}{1 + m_\varphi \cdot \varphi_\infty}} = 1{,}56 \cdot 10^{-3}, \text{ или } 1{,}56 \text{ мм/м}.$$

Для данного примера величина относительной деформации панели, просчитанная по СН 287-65, составила $1{,}3 \cdot 10^{-3}$.

Пример 2. Вычислить полный прогиб одновлойной плиты для покрытия промышленного здания с относительной влажностью воздуха 60% и температурой внутреннего воздуха 18°С. Район – Московская область. Нормативная снеговая нагрузка – 100 кг/м^2.

Размеры плиты: длина 6 м, ширина 1,5 м, толщина 24 см. Материал плиты – автоклавный газозолосиликат об"емной массой $\gamma_{сух}$ = 700 кг/м^3, проектная марка (по прочности на сжатие) 35. Арматура класса АП, F_a = 12,44 см^2, F'_a = 3,93 см^2, a = 3,0 см, a' = 3,0 см. Начальная влажность конструкции – 30%[1]. Влажность конструкции после двух лет эксплуатации – 28%[2].

Расчет. Средняя расчетная влажность W = 29%.

---

1) Хигалов И.И. Расчет температурно-влажностного режима панелей из газозолосиликата. В сб. "Практические задачи строительной теплофизики крупнопанельных зданий". М., Стройиздат, 1966.

2) То же.

Средняя годовая температура наружного воздуха (по СНиП II-А,6-62) + 3,6°С. Средняя расчетная температура

$$T = 11^{\circ}C.$$

I. Определение нормативных нагрузок, действующих на плиту. Нормативная объемная масса бетона (в соответствии со СН 287-65) - 950 кг/м^3.

Нормативная постоянная нагрузка, кг/м^2:

Собственный вес плиты	950·0,24 =228
Вес раствора заливки швов	16
Вес руберойдного ковра	20
	$g_н$ = 264 кг/м^2

Полная нормативная нагрузка

$$q_н = g_н + P_н = 264 + 100 = 364 \text{ кг/м}^2.$$

Нормативный момент от собственного веса (длительно действующая часть нагрузки)

$$M^н_{дл} = 1720 \text{ кгм.}$$

Нормативный момент от полной нагрузки

$$M^н = 2380 \text{ кгм.}$$

2. Нормативные сопротивления.

В зависимости от средней расчетной влажности бетона (по СН 287-65) $R^н_р = 3,1$ кг/см^2.

Нормативное сопротивление растянутой и сжатой арматуры (по СНиП II-В. 1-62) $R^н_а = R^н_{а.с} = 3000$ кг/см^2.

Модуль упругости бетона (по табл.2) $E_б = 20000$ кгс/см^2.

Модуль упругости арматуры (по СНиП II-В.1-62) $E_а = 2100000$ кгс/см^2.

3. Расчет деформаций.

Так как $M^н > M_{тр}$, расчет ведем с учетом наличия трещин ($M_{тр}$ определяется согласно СН 287-65).

А. Определение прогибов от кратковременного действия всей нагрузки ($M^н$ = 2380 кгм).

Для определения относительной высоты сжатой зоны с учетом влияния сжатой арматуры по формуле (12) необходимо вычислить:

$$M_{бт} = 0,292\, \beta h^2 R^н_р = 78000 \text{ кгсм;}$$

$$\psi_a = 0{,}623; \quad \psi_б = 0{,}7;$$

$$n_c = \frac{E_a}{E_б} \cdot \frac{\psi_б}{\psi_a} = 118;$$

$$\mu_0 = \frac{F_a}{b h_0} = 0{,}00395;$$

$$\mu_0' = \frac{F_a'}{b h_0} = 0{,}00125;$$

$$\delta' = \frac{a'}{h_0} = 0{,}143;$$

$$\xi_0^c = -n_c(\mu_0 + \mu_0') + \sqrt{n_c^2(\mu_0 + \mu_0')^2 + 2n_c\left(\mu_0 + \mu_0'\delta'\right)\frac{\psi_a}{\psi_б}} =$$

$$= 0{,}5.$$

Для определения относительной высоты сжатой зоны по формуле (21а) вычисляем:

$$\mu_x' = \frac{F_a}{b \cdot \xi_0^c \cdot h_0} = 0{,}0025;$$

$$n_a = \frac{E_a}{E_б} = 105;$$

$$E_б^c = E_б\left(1 + n_a \mu_x'\right) = 25240 \text{ кг/см}^2;$$

$$n_c^c = \frac{E_a}{E_б^c} \cdot \frac{\psi_б}{\psi_a} = 94;$$

$$\xi_0 = n_c^c \mu_0 \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2}{n_c^c \mu_0}}\right) = 0{,}565.$$

Начальная жесткость

$$B_0 = \frac{E_a}{\psi_a} F_a h_0^2 \left(1 - \xi_0\right)\left(1 - \frac{\xi_0}{3}\right) = 6550 \cdot 10^6 \text{ кгсм}^2.$$

Прогиб при кратковременном действии всей нагрузки

$$f_1 = S\ell_0^2 \frac{M}{B_0} = 1{,}34 \text{ см.}$$

Б. Определение прогибов при кратковременном действии длительной нагрузки ($M_{2d}^{n} = 1720$ кгм).

Аналогично определению прогибов от кратковременного действия всей нагрузки вычисляем:

$\psi_\alpha = 0{,}478$; $\quad n_c = 154$; $\quad \xi_0^c = 0{,}53$;

$M_x' = 0{,}00236$; $\quad E_0^c = 25000$ кг/см^2; $\quad n_c^c = 123$;

$\xi_0 = 0{,}647$; $\quad B_0 = 6680 \cdot 10^6$ кгсм^2.

Прогиб от кратковременного действия длительной нагрузки

$f_2 = 0{,}94$ см.

В. Определение прогибов при длительном действии длительной нагрузки.

В соответствии с табл.3 принимаем величину предельной характеристики ползучести $\varphi_\infty = 2{,}5$.

По табл.5 определяем величину $\varphi_\infty^c = 1{,}57$.

По номограмме (см.рисунок) определяем величину коэффициента θ, соответствующую величинам $\varphi_\infty^c = 1{,}57$, $W = 29\%$, $T = 11^0$C: $\theta = 1{,}7$

По формуле (7) определяем полную величину прогиба конструкции с учетом длительного действия нагрузки:

$$f = f_1 + f_2(\theta - 1) = 2{,}0 \text{ см;}$$

$$\frac{f}{\ell_0} = \frac{2{,}00}{5{,}90} = \frac{1}{295} < \left[\frac{1}{200}\right].$$

Величина полного прогиба плиты, определенная по СН 287-65, составила 2,2 см.

О Г Л А В Л Е Н И Е

I. Общие положения 3
2. Учет влияния температуры и влажности при определении деформаций сжатых элементов 4
3. Определение полных прогибов изгибаемых элементов в зависимости от температурно-влажностного режима бетона 6
4. Примеры расчета II

Редактор А.М. П а л а м а р е н к о
Технический редактор А.Н. Я с е в а
Корректор Л.П. И в а н о в а

Научно-исследовательский институт строительного производства Госстроя УССР

БФ 34326. Подписано к печати 12/XII 1973 г. Формат бум.60x84 1/16. Изд. № 114. Печ. л. 1. Заказ 1025. Тираж 300. Цена 5 коп.

Фотопечатная лаборатория НИИСП Госстроя УССР. Киев, Преображенская, 5/2

gost.e-ecolog.ru