

УДК 624.012.45.045

В.А.Тесля

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНЫХ ДОПУСТИМЫХ НАПРЯЖЕНИЙ СЖАТИЯ ДЛЯ КОНСТРУКТИВНЫХ БЕТОНОВ

При проектировании центрально и внецентренно сжатых железобетонных элементов при соблюдении экономических требований необходимо обосновано принимать класс бетона по условиям необходимой максимальной прочности бетона на сжатие.

Максимальная прочность бетона на сжатие, как известно, зависит от двух компонентов – предельных относительных деформаций бетона на сжатие и модуля упругости при этом состоянии. Аналитическая зависимость этого состояния принимает значение $\sigma_{bmax} = \varepsilon_{np} E_{red}$. Для армированных железобетонных центрально сжатых элементов их несущая способность при гибкости $l_0/h \leq 20$ будет определяться как

$$N_{max} = \varphi (A_b \varepsilon_{np} E_{red} + R_{sc} A_s)$$

Здесь произведение $A_b \varepsilon_{np} E_{red}$ определяет максимальную величину силы сжатия воспринимаемую бетоном. Такое состояние дает экономический эффект по стоимости, так как снижается расход бетона и уменьшается количество рабочей продольной арматуры.

Предельное значение относительной деформации бетона согласно свода правил по проектированию и строительству СП 52-101-2003 при непродолжительном действии нагрузки $\varepsilon_{b1.red} = 0.0015$, а при продолжительном действии определяется в зависимости от относительной влажности воздуха окружающей среды, по табл. 5.6. упомянутого свода правил. Так при относительной влажности $W \geq 75\%$ – $\varepsilon_{bo} = 0.003$; $\varepsilon_{b1.red} = 0.0024$; $W = 40 - 75\%$ – $\varepsilon_{bo} = 0.0034$; $\varepsilon_{b1.red} = 0.0028$; $W < 40\%$ – $\varepsilon_{bo} = 0.004$; $\varepsilon_{b1.red} = 0.0034$.

Определяем максимально допустимые напряжения в бетоне по предельным деформациям бе-

тона по сжатию при различных значениях модулей упругости, определяемых с учетом коэффициентов ползучести $\varphi_{b.cr}$ (табл. 1).

Таблица 1

Класс бетона	Модуль упругости, МПа	Коэффициент $\varphi_{b.cr}$		
		W		
		$\geq 75\%$	40 - 75%	$< 40\%$
В 15	$24 \cdot 10^3$	2,4	3,4	4,8
В 20	$27.5 \cdot 10^3$	2,0	2,8	4,0
В 25	$30 \cdot 10^3$	1,8	2,5	3,6
В 30	$32.5 \cdot 10^3$	1,6	2,3	3,2
В 35	$34.5 \cdot 10^3$	1,5	2,1	3,0
В 40	$36 \cdot 10^3$	1,4	1,9	2,8

При продолжительном действии нагрузки модули упругости будут определяться с учетом коэффициента ползучести $\varphi_{b.cr}$. Таким образом, значения модулей будут определяться в зависимости от влажности окружающей среды по формуле 5.3 [1] $\varepsilon_{b,r} = \varepsilon_b / (1 + \varphi_{b.cr})$.

В табл. 2 определены модули упругости бетона с учетом коэффициентов $\varphi_{b.cr}$, отвечающих различным значениям влажности по каждому классу бетона.

Так как напряжения определяются по формуле $\sigma_b = \varepsilon E_b$, то будет наблюдаться линейная зависимость снижения напряжений сжатия бетона в соответствии с относительной влажностью среды. При этом максимальные относительные деформации сжатия бетона при продолжительном действии нагрузки также имеют свои значения в соответствии относительной влажности окружающей среды, согласно табл. 5.6 [1] при влажности $W \geq 75\%$ – $\varepsilon_{b2} = 0.0042$; $W = 40 - 75\%$ – $\varepsilon_{b2} = 0.0048$; $W < 40\%$ – $\varepsilon_{b2} = 0.0056$.

Таблица 2

Класс бетона	E_b - модули упругости бетона, МПа			
	Вез учета влажности	При учете влажности W		
		$\geq 75\%$	40 - 75%	$< 40\%$
В 15	$24 \cdot 10^3$	$7.059 \cdot 10^3$	$5.450 \cdot 10^3$	$4.130 \cdot 10^3$
В 20	$27.5 \cdot 10^3$	$9.167 \cdot 10^3$	$7.240 \cdot 10^3$	$5.500 \cdot 10^3$
В 25	$30 \cdot 10^3$	$10.710 \cdot 10^3$	$8.570 \cdot 10^3$	$6.520 \cdot 10^3$
В 30	$32.5 \cdot 10^3$	$12.500 \cdot 10^3$	$9.850 \cdot 10^3$	$7.740 \cdot 10^3$
В 35	$34.5 \cdot 10^3$	$13.800 \cdot 10^3$	$11.130 \cdot 10^3$	$8.620 \cdot 10^3$
В 40	$36 \cdot 10^3$	$15.000 \cdot 10^3$	$12.410 \cdot 10^3$	$9.470 \cdot 10^3$
Для сравнения среднего значения	$30.75 \cdot 10^3$	$11.373 \cdot 10^3$	$9.108 \cdot 10^3$	$6.997 \cdot 10^3$
Снижение модулей составляет		в 2,70 раз	в 3,38 раз	в 4,40 раз

Таблица 3

Класс бетона [1]	$W \geq 75\%$	$W = 40 - 75\%$	$W < 40\%$	Средние значения
	$\varepsilon_{b2}=0.0042$	$\varepsilon_{b2}=0.0048$	$\varepsilon_{b2}=0.0056$	
В 15	29,65	26,16	23,13	26,31
В 20	38,50	34,75	30,80	34,68
В 25	44,98	41,14	36,51	40,87
В 30	52,50	47,28	43,34	47,71
В 35	57,96	53,42	48,27	53,22
В 40	63,00	59,57	53,03	58,53

Таблица 4

Класс бетона	В 15	В 20	В 25	В 30	В 35	В 40
Нормативное сопротивление бетона сжатию $\sigma_{bc} / R_{b,ser}$ МПа	11,0	15	18,5	22	25,5	29
Средние значения напряжений сжатия σ_{bc} МПа	26,31	34,68	40,87	47,71	53,22	58,53
Отношение $\sigma_{bc} / R_{b,ser}$	2,39	2,31	2,21	2,17	2,09	2,02

Определим допустимые напряжения сжатия бетона по граничным значениям относительных деформаций бетона при сжатии ε_{b2} и модулях упругости бетона E_b при учете влажности окружающей среды согласно данных табл. 2. Напряжения будут определяться по формуле $\sigma_b = \varepsilon_{b2} E_b$, результаты определений приведены в табл. 3.

Произведем сравнение средних допустимых напряжений сжатия бетона с нормативными значениями сопротивления бетона при осевом сжатии указанных в табл. 5.1 [1].

Согласно данных табл. 4, наблюдается недоиспользование прочности бетона более чем в два раза. Известно по п.5.1.9 [1], что расчетные значе-

ния сопротивления бетона осевому сжатию R_b определяется делением нормативных сопротивлений бетона на коэффициент $\gamma_b = 1.3$ для предельных состояний по несущей способности первой группы, или $\gamma_b = 1.5$ для предельных состояний по несущей способности при назначении класса бетона по прочности на сжатие.

Определим условный класс бетона по прочности на сжатие при минимальных значениях прочности бетона, согласно данных табл.3 при влажности ниже 40%.

Таким образом наблюдается соответствие классов бетона до В 30 включительно, а классы В 35 и В 40 по нормативным данным можно считать

Таблица 5

Отношение	23.13/1.5 =15.42	30.80/1.5 =20.53	36.51/1.5 =24.34	43.34/1.5 =28.9	48.27/1.5 =32.18	53.03/1.5 =35.35
Устанавливаем класс бетона	В 15	В 20	В 25	В 30	В 30	В 35
Данные соответствуют классам табл. 3	В 15	В 20	В 25	В 30	В 35	В 40

Таблица 6

Отношение	29.65/1.5 =19.76	38.50/1.5 =25.67	44.98/1.5 =29.98	52.50/1.5 =35.00	57.96/1.5 =38.64	63.00/1.5 =42.00
Устанавливаем класс бетона	В 20	В 25	В 30	В 35	В 40	В 40
Данные соответствуют классам табл. 3	В 15	В 20	В 25	В 30	В 35	В 40

Таблица 7

Класс бетона	R_{bn}	W		
		$\geq 75\%$	40- 75%	$< 40\%$
В 15	11,0	0,00160	0,00202	0,00266
В 20	15,0	0,00164	0,00207	0,00272
В 25	18,5	0,00173	0,00215	0,00283
В 30	22,0	0,00176	0,00223	0,00284
В 35	25,5	0,00185	0,00229	0,00296
В 40	29,0	0,00194	0,00234	0,00306
Средние значения ε_{bo}		0,00176	0,00218	0,00284

Таблица 8

Класс бетона	R_b	R_{bn}	W		
			$\geq 75\%$	40 - 75%	$< 40\%$
В 15	8,5	11,0	11,294	11,009	10,986
В 20	11,5	15,0	15,034	15,015	14,987
В 25	14,5	18,5	18,511	18,452	18,421
В 30	17,0	22,0	22,000	21,982	21,966
В 35	19,5	25,5	25,530	25,515	25,487
В 40	22,0	29,0	29,039	28,978	28,950

завышенным на один порядок. При гарантированной влажности окружающей среды не ниже 75%, классы бетонов по прочности на сжатие будут определяться согласно п.5.1.9 [1] – см. табл. 6.

По анализу данных табл. 6 классы бетона по результатам прочности на сжатие при влажности не ниже 75%, на порядок выше нормативных значений согласно п.5.1.9 [1]. Для сравнения средних значений допустимых напряжений сжатия бетона с нормативными сопротивлениями см. график на рис. 1.

Значения относительных деформаций бетона ε_{bo} , которые соответствуют нормативным сопротивлением бетона R_{bn} и влажности приведены в табл. 7.

Значения ε_{bo} определены с учетом модулей E_b , которые определены в соответствии с влажностью окружающей среды. По средним значениям ε_{bo} и по модулям упругости определенным в соответствии с влажностью, определим напряжения сжатия бетона и сравним с расчетными R_b и нормативными сопротивлениями R_{bn} бетона, см. табл. 5.1 и 5.2 [2].

Результаты сравнения приведены в табл. 8, где напряжения сжатия бетона определены по формуле $\sigma_{bc} = \varepsilon_{bo} E_b$ МПа.

В табл. 8 напряжения определены по средним

значениям относительных деформаций бетона ε_{bo} , значения σ_{bc} примерно равны нормативным сопротивлениям бетона R_{bn} , что подтверждает правильность определения, и в этом случае относительная влажность не влияет на результаты определения напряжений. Это состояние свидетельствует о завышенных значениях ε_{bo} из табл. 5.6 [1], где не указаны классы бетонов.

Таблица 9

ε_{bo} по СП	$W \geq 75\%$ 0,003	$W = 40 - 75\%$ 0,0034	$W < 40\%$ 0,004
В 15	в 1,875	в 1,583	в 1,504
В 20	в 1,829	в 1,642	в 1,471
В 25	в 1,734	в 1,581	в 1,413
В 30	в 1,704	в 1,525	в 1,408
В 35	в 1,622	в 1,485	в 1,351
В 40	в 1,546	в 1,453	в 1,307
Среднее завышение	в 1,718	в 1,562	в 1,409

В табл. 9 в верхней строке указаны относительные деформации ε_{bo} бетона по табл. 5.6 [1], а ниже указаны превышения нормативных значений ε_{bo} по сравнению с данными табл. 7 по каждому классу бетона. Особенно такое положение сильно наблюдается для бетонов при влажности выше 75%.

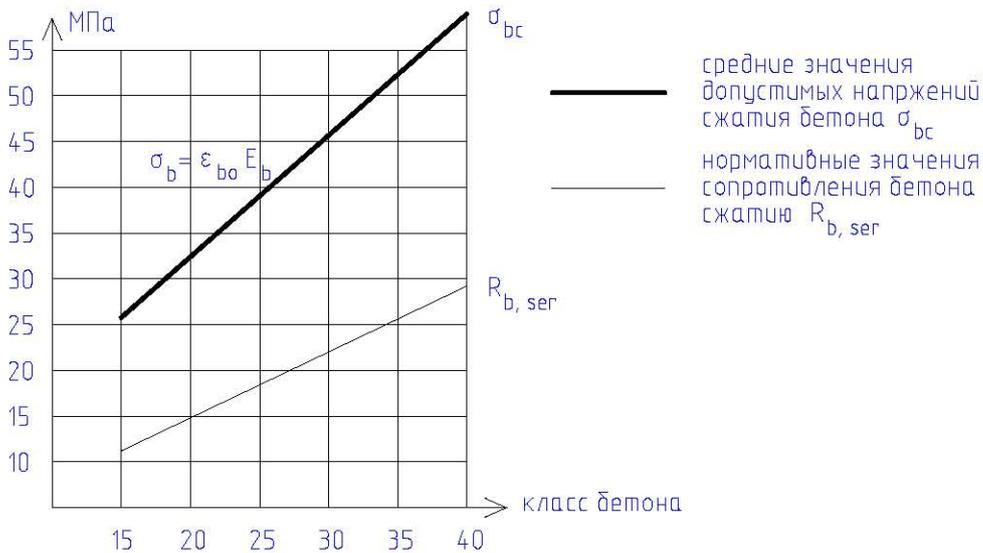


Рис. 1. График сравнения средних значений σ_{bc}

Таблица 10

Класс бетона	R_{bn}	W		
		$\geq 75\%$	$\geq 75\%$	$\geq 75\%$
В 15	11,0	12,424	11,880	11,729
В 20	15,0	16,134	15,783	15,620
В 25	18,5	18,850	18,682	18,517
В 30	22,0	22,00	21,473	21,982
В 35	25,5	24,288	24,263	24,481
В 40	29,0	26,400	27,054	26,895

Таблица 11.

Класс бетона	R_{bn}	Относительные деформации		
		0,003	0,0034	0,004
В 15	11,0	21,77	18,530	16,520
В 20	15,0	27,501	24,616	22,000
В 25	18,5	32,130	29,138	26,080
В 30	22,0	37,500	33,490	30,960
В 35	25,5	41,400	37,842	34,480
В 40	29,0	45,000	42,194	37,880

В табл. 10 определены напряжения сжатия бетона в МПа по средним значениям относительных деформаций и соответствующих значений влажности.

По данным результатам табл. 10 видно, что нормативные значения прочности бетона на сжатие в своде правил [1] несколько завышены, для классов бетонов В 35 и В 40. При использовании нормативных значений относительных деформаций $\varepsilon_{bo} = 0,003$, для $W \geq 75\%$ - 0,0034 для $W = 40 - 75\%$ и 0,004 для $W < 40\%$ будем иметь напряжения более высокими (табл. 11).

По данным табл. 11 определяется класс бетона по прочности на сжатие, принимая средние табличные значения напряжений σ_{bc} . Результат такого метода определения класса бетона показан в табл. 12, принимая коэффициент 1,5 для предельных состояний при назначении класса бетона по

На основе приведенного материала сравнений сделаем ряд выводов.

1. Определения напряжений от различных нагрузок необходимо определять по модулю упругости определяемого с учетом коэффициента ползучести $\varphi_{b.cr}$, который различный для каждого класса бетона и каждого значения относительной влажности среды.

2. Нормативные значения относительных деформаций бетона на сжатие завышена, поэтому при качественном расчете необходимо это учитывать, так как это дает повышенный результат несущей способности железобетонных элементов воспринимающих усилия сжатия.

3. При напряжениях определяемых по средним значениям относительных деформаций бетона ε_{bo} относительные деформации бетона принимаются без учета влияния относительной влажности воздуха окружающей среды.

Таблица 12

Средние значения сжатия бетона МПа	18,94	24,71	29,12	33,98	37,91	41,68
Понижение средних значений на коэффициент 1,5	12,63	16,47	19,41	22,65	25,27	27,79
Должен быть класс бетона	10	15	20	20	25	30
Фактический класс установлен по [1]	15	20	25	30	35	40

прочности на сжатие, согласно п.5.1.9 [1].

По результатам табл. 12 наблюдается, что классы бетона установлены по значениям средних допустимых напряжений сжатия бетона без учета понижающего коэффициента 1,5 и при учете пониженных значений относительных деформаций.

4. По каждому классу бетона в табл. 9 указаны превышения нормативных значений относительных деформаций по отношению со средними, которые подтверждаются нормативными значениями бетона на сжатие R_{bn} .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 52-101-2003 – Свод правил по проектированию и строительству. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры – М.: ГУП «НИИЖБ», ФГУП ЦПП, 2004. – 53 с.

□ Автор статьи:

Тесля
Виктор Андреевич,
- доцент каф. строительных кон-
струкций КузГТУ
Тел.: 8-3842-39-63-31