

Особенности расчёта железобетонных колонн из высокопрочного бетона по деформированной схеме

А.М. Мкртчян, Д.Р. Маилян

При расчете «центрально» сжатых колонн значение осевого эксцентриситета e_0 принималось равным случайному эксцентриситету, $e_0 = 4$ мм для колонн сечением 250x120(h) мм и 3 мм для колонн сечением 200x100(h) мм. Продольная арматура принята с сопротивлением $R_{sc}=R_s=548$ МПа.

При расчёте колонн по деформированной схеме в рамках норм [6,7,8], но с учётом названных предпосылок получены результаты, приведенные в табл.1.1. Следует отметить, что выбор формулы кривизны (с трещинами или без) осуществлялся вручную на основании данных эксперимента.

Таблица 1.1

Результаты расчета колонн по деформированной схеме по нормам

Шифр образ-ца	Параметры расчета			Результаты эксперимента			Результаты расчета		$\frac{N^{theor}}{N^{exp}}$	$\frac{f^{theor}}{f^{exp}}$
	μ	λ_h	e_0/h	N^{exp} , кН	f^{exp} , мм	Наличие трещин	N^{theor} , кН	f^{theor} , мм		
К-1	1,5	8,33	0	2190	0,02	нет	2363,94	0,002	1,08	0,1
К-2	1,5	16,7	0	2080	0,94	нет	1807,91	0,58	0,87	0,62
К-3	1,5	25	0	1850	1,28	нет	1157,20	2,32	0,63	1,81
К-4	1,5	8,33	0,2	1500	0,22	есть	1149,15	0,49	0,77	2,25
К-5	1,5	16,7	0,2	1320	1,65	есть	1111,02	0,45	0,84	0,27
К-6	1,5	25	0,2	1050	4,64	есть	640,68	3,06	0,61	0,66
К-7	1,5	8,33	0,5	610	0,51	есть	278,80	5,88	0,46	11,53
К-8	1,5	16,7	0,5	500	2,13	есть	405,60	0,68	0,81	0,32
К-9	1,5	25	0,5	380	5,55	есть	162,33	5,41	0,43	0,97
К-10	3,4	30	0	1600	2,01	нет	679,00	3,32	0,42	1,65
К-11	3,4	30	0,2	780	4,8	есть	174,42	8,50	0,22	1,77
К-12	3,4	30	0,5	330	5,68	нет	265,39	2,76	0,80	0,49

Шифр образ-ца	Параметры расчета			Результаты эксперимента			Результаты расчета		$\frac{N^{theor}}{N^{exp}}$	$\frac{f^{theor}}{f^{exp}}$
	μ	λ_h	e_0/h	N^{exp} , кН	f^{exp} , мм	Наличие трещин	N^{theor} , кН	f^{theor} , мм		
К-13	2,26	30	0	1220	2,1	нет	655,33	3,18	0,54	1,51
К-14	2,26	30	0,2	720	5,53	есть	145,95	7,74	0,20	1,40
К-15	2,26	30	0,5	280	5,02	есть	102,84	7,53	0,37	1,50
К-16	2,26	20	0	1640	0,05	нет	1306,35	1,34	0,80	26,84
К-17	2,26	20	0,2	1000	1,8	есть	349,68	3,60	0,35	2,00
К-18	2,26	20	0,5	380	2,14	есть	239,11	3,52	0,63	1,65
Среднеквадратическое отклонение по N, кН							456,17			

Сопоставление значений теоретического значения несущей способности колонны, N_{theor} , и экспериментального, N_{exp} , показало расхождение указанных величин от +8 % до -80 %. Причем, теоретическое значение оказалось выше экспериментального всего в одном случае – в короткой стойке К-1, сжатой со случайным эксцентриситетом. В остальных колоннах несущая способность колонн недооценена. Наибольшее расхождение наблюдается у гибких колонн с армированием выше 2 % ($\mu=2,26$ % и $\mu=3,4$ %).

Разницу прогибов между теоретическими и экспериментальными значениями от +80 % до -73 %.

Наличие такой разницы между экспериментом и теоретическими значениями не позволяет говорить о возможности применять нормативные методы расчета по деформированной схеме на основе предельных усилий для расчета колонн из высокопрочных бетонов классов В80-В110[4,5,9,10].

Анализ опытных данных показал, что разница в несущей способности стоек обуславливается, прежде всего, значительными неточностями в определении прогибов. Сам метод определения напряжённо-деформированного состояния сечения уже апробирован при расчёте по недеформированной схе-

ме и получена хорошая сходимость по несущей способности. Разница в расчётах по двум указанным методам заключена в блоке определения прогибов.

В формулу определения кривизны для элементов, работающих без трещин, введём дополнительный эмпирический коэффициент φ к жёсткости железобетонного сечения:

$$\frac{1}{r} = \frac{N \cdot e_0}{\varphi \cdot E_b \cdot I_{red}}, \quad (1.1)$$

Цель введения φ – учёт особенностей работы высокопрочных бетонов и их влияния на деформирование железобетонных колонн.

Для определения рекомендуемых значений φ была выполнена серия расчётов колонн, работающих без трещин. Критерием назначения значения коэффициента являлось соответствие прогибов экспериментальным. Одновременно контролировалось значение несущей способности – оно также приближалось к опытным данным. На основе подобранных значений разработана формула для определения коэффициента φ :

$$\varphi = 0,569 + 0,082 \cdot \lambda_h + 0,0085 \cdot \lambda_h^2 + 0,00013 \cdot \lambda_h^3. \quad (1.2)$$

Область применения формулы: железобетонные колонны, сжатые со случайным эксцентриситетом, с гибкостями $\lambda_h = (8 \dots 30)$ и армированием $\mu = (1,5 \dots 3,4) \%$.

Предварительные расчеты колонн с трещинами в растянутой зоне показали, что использование откорректированной формулы кривизны, предложенной в работах Д.Р. Маиляна и В.Н. Аксенова [1, 2, 3, 4] для колонн с относительным эксцентриситетом $e_0/h = 0,2$ приводит к хорошей сходимости полученных результатов с опытными данными:

$$\frac{1}{r} = \frac{M_s}{h_0 z} \left(\frac{\psi_s}{E_s A_{sp} + E_s A_s} + \frac{\psi_b \cdot \psi_\alpha}{(\varphi_f + \xi) b h_0 E_b \nu} \right) - \frac{N_{tot}}{h_0} \frac{\psi_s}{E_s A_{sp} + E_s A_s}. \quad (1.3)$$

При $e_0/h = 0,2$ ψ_α определяется по формуле:

$$\psi_\alpha = 1 - 0,0268 \lambda_h + 0,154 \mu / (1,5 - e_0 / h) + 2,95 \cdot 10^{-4} \sigma_{sp}, \quad (1.4)$$

где $\lambda_h = l_0/h$; $\mu = A_{s,tot}/(bh) \cdot 100$ %; σ_{sp} – значение предварительного напряжения в МПа. Поскольку в настоящем исследовании предварительное напряжение арматуры не рассматривалось, то последнее слагаемое формулы оставим без изменений, ссылаясь на экспериментальную базу авторов формулы.

Для учёта повышенной жёсткости колонн из высокопрочных бетонов, работающих при больших эксцентриситетах, предлагается в формулу (1.3) ввести дополнительный коэффициент ψ_β , для расчёта колонн с эксцентриситетами выше 0,2:

$$\frac{1}{r} = \frac{M_s \psi_\beta}{h_0 z} \left(\frac{\psi_s}{E_s A_{sp} + E_s A_s} + \frac{\psi_b \cdot \psi_\alpha}{(\varphi_f + \xi) b h_0 E_b \nu} \right) - \frac{N_{tot}}{h_0} \frac{\psi_s}{E_s A_{sp} + E_s A_s}. \quad (1.5)$$

При $e_0/h=0,5$ ψ_β определяется по формуле:

$$\psi_\beta = \left| 1 - \frac{\delta_e \cdot (1 - \delta_e)}{0,2} \right|, \quad (1.6)$$

здесь $\delta_e = e_0/h$.

Таблица с результатами расчета колонн по деформированной схеме с учетом предлагаемых зависимостей (1.1)...(1.6) приводится ниже (табл. 1.2). Как было сказано ранее, выбор расчетной формулы для определения кривизны – с трещинами или без – задавался при выполнении расчета вручную.

Таблица 1.2

Результаты расчёта колонн по деформированной схеме с учётом зависимостей

Номер образца	Результаты эксперимента			Коэффициенты по предложенным формулам			Результаты расчета		$\frac{N^{theor}}{N^{exp}}$	$\frac{f^{theor}}{f^{exp}}$
	N^{exp} , кН	f^{exp} , мм	Наличие трещин	φ	ψ_α	ψ_β	N^{theor} , кН	f^{theor} , мм		
К-1	2190	0,02	нет	0,4	-	-	2403,6	0,021	1,10	1,05
К-2	2080	0,94	нет	0,94	-	-	1992,7	0,94	0,96	1,00
К-3	1850	1,28	нет	1,78	-	-	1840,3	1,28	0,99	1,00

К-4	1500	0,22	есть	-	0,184	-	1474,3	0,22	0,98	1,00
К-5	1320	1,65	есть	-	0,17	-	1321,9	1,32	1,00	0,80
К-6	1050	4,64	есть	-	0,127	-	1133,8	5,15	1,08	1,11
К-7	610	0,51	есть	-	-	0,25	587,4	0,423	0,96	0,83
К-8	500	2,13	есть	-	-	0,25	527,2	1,44	1,05	0,68
К-9	380	5,55	есть	-	-	0,25	377,5	4,99	0,99	0,90
К-10	1600	2,01	нет	2,25	-	-	1404,5	1,89	0,88	0,94
К-11	780	4,8	есть	-	0,104	-	802,0	3,45	1,03	0,72
К-12	330	5,68	нет	-	0,268	0,25	355,4	4,39	1,08	0,77
К-13	1220	2,1	нет	2,25	-	-	1359,5	2,11	1,11	1,00
К-14	720	5,53	есть	-	0,095	-	699,7	4,021	0,97	0,73
К-15	280	5,02	есть	-	0,226	0,25	301,6	4,03	1,08	0,80
К-16	1640	0,05	нет	1,31	-	-	1642,2	0,06	1,00	1,20
К-17	1000	1,8	есть	-	0,09	-	1016,0	0,748	1,02	0,42
К-18	380	2,14	есть	-	0,315	0,25	399,7	1,864	1,05	0,87
Среднее квадратическое отклонение по N, кН							69,2			

Полученные в результате расчета значения несущей способности колонн отличаются от экспериментальных на $\pm 12\%$, что свидетельствует о достоверности сделанных предположений. Среднеквадратическое отклонение теоретической несущей способности от опытной снизилось в 7 раз по сравнению с расчетом по нормам. Значения прогибов, полученных расчетом отличаются от экспериментальных не более чем на 32 %.

На основании приведенных данных сделаем о том, что предложенные автором корректировки метода расчета по деформированной схеме позволили получить результат, близкий к экспериментальному.

Литература:

1. Аксёнов В.Н. К расчету колонн из высокопрочного бетона по недеформированной схеме // Бетон и железобетон.– 2009.– № 1. – С. 24-26.

2. Аксёнов В.Н., Маилян Д.Р. Работа железобетонных колонн из высокопрочного бетона // Бетон и железобетон.– 2008.– № 6. – С. 5-8

3. Баженов Ю.М. Технология бетона.– М.: Изд-во АСВ, 2003. – 500 с

4. Мкртчян А.М., Аксенов В.Н. Аналитическое описание диаграммы деформирования высокопрочных бетонов [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2013, №3. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1818> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

5. Мкртчян А.М., Аксенов В.Н. О коэффициенте призмочной прочности высокопрочных бетонов [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2013, №3. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1817> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

6. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 54 с.

7. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. – М.: ФАУ «ФЦС», 2012. – 156 с.

8. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения.– М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 24 с.

9. Mkrtchyan A.M., Mailyan D.R., Aksenov V.N. Experimental study of reinforced concrete columns of high-strength concrete // Applied Sciences and technologies in the United States and Europe: common challenges and scientific findings: Papers of the 2nd International Scientific Conference (September 9–10, 2013). Cibunet Publishing. New York, USA. 2013. P.130-134.

10. Sheikh S.A., Uzumcri S.M. Analytic Model for Concrete Confinement in Tied Columns. - Journal of the Structural Division. ASCE. Vol. 108, №12, 1982. P. 2703-2722.