

расход стали по сравнению с традиционным равномерным размещением арматуры по окружности сократился для фахверковой колонны склада резервов на 10% и для рядовой стойки эстакады на 20%. В конечном итоге была достигнута конкурентноспособность этих конструкций с типовыми и по расходу стали при одновременной экономии бетона до 50%.

Теоретические расчеты и имеющийся экспериментальный материал показывают, что пути снижения металлоемкости кольцевых железобетонных элементов, работающих в условиях действия значительных изгибающих моментов фиксированного направления, следует искать в оптимальном размещении продольной рабочей арматуры.

В таких конструкциях большую экономию стали может дать применение высокопрочной предварительно напряженной арматуры.

Особое значение показанный тип армирования имеет для кольцевых крановых колонн, где имеют место значительные знакопеременные изгибающие моменты.

Л и т е р а т у р а

1. БАРАНЧИК Г.Г., БЕГУН Г.Н. и др. Центрифугированные железобетонные колонны кольцевого сечения в промышленном строительстве БССР. "Бетон и железобетон", № 12, 1975.

2. МИХАЙЛОВ В.В. Реконструкция сборного железобетона на базе центробежного бетона. Труды Закавказского института сооружений, вып. XIV. Тифлис, ЗагИЗ, 1934.

И.А.Ворошилов

УДК 624.072.7

О ПЛЕЧЕ ВНУТРЕННЕЙ ПАРЫ УСИЛИЙ ЭЛЕМЕНТА КОЛЬЦЕВОЙ ФОРМЫ СЕЧЕНИЯ

Одна из особенностей работы железобетонного изгибаемого внецентренно сжатого и внецентренно растянутого элемента кольцевой формы сечения с арматурой, равномерно распределенной по окружности, состоит в том, что изменение площади сжатой зоны

бетона, вызванное увеличением внешнего силового воздействия, неизбежно отражается на площади арматуры, работающей на растяжение. Это приводит к изменению расстояний от равнодействующих усилий в сжатой зоне бетона и растянутой арматуре. Если в сжатой части сечения они уменьшаются, то в растянутой будут возрастать.

В [1] показано, что при треугольной эпюре распределения напряжений в сжатой зоне бетона плечо внутренних усилий почти не изменяется и составляет $1,57 r_{cp}$, где r_{cp} — средний радиус бетонного кольца. Таким оно останется и при прямоугольной эпюре.

Проведенными исследованиями установлено, что плечо внутренней пары усилий, его составляющие $Z_s = y_{cs} + y_{ra}$ в значительной степени зависят от угла охватывающего сжатую зону бетона $2\varphi_0$ (рис. 1).

Для доказательства запишем:

$$y_{cs} = r_{cp} \frac{\sin \varphi_0}{\varphi_0} ; \quad (1)$$

$$y_{ra} = r_a \frac{\sin \varphi_0}{\pi - \varphi_0} ; \quad (2)$$

$$Z_s = \sin \varphi_0 \left(\frac{r_{cp}}{\varphi_0} + \frac{r_a}{\pi - \varphi_0} \right) . \quad (3)$$

При $r_{cp} = \frac{r_1 + r_2}{2} = r_a$, что допустимо, получим

$$Z_s = r_{cp} \sin \varphi_0 \frac{\pi}{\varphi_0 (\pi - \varphi_0)} . \quad (4)$$

Условие (3) непосредственно не зависит от изменения толщины стенки кольца, а (4) представляет собой частный случай.

Преобразовав условие (3), получим

$$y_{cs} = r_{cp} \sin \varphi_0 \left[\frac{1}{\varphi_0} + \frac{\frac{r_a}{r_{cp}}}{(1 + \eta)(\pi - \varphi_0)} \right] . \quad (5)$$

В координатах $y = f(\alpha_k; Z_s)$ построим графическую зависимость (рис. 2).

Максимальное значение плеча внутренней пары усилий при $\eta = 0,8$ соответствует $\alpha_k = 0,5$ и равно $1,2724 r_{cp}$. Для других значений η (от 0,8 до 0,5) ординаты кривых постепенно увеличиваются, принимая максимальное значение $1,42 r_{cp}$ при $\alpha_k = 0,6$

и $\eta = 0,5$, т.е. при максимальной толщине стенки. Плечо внутренней пары усилий с увеличением стенки кольца ($\eta = 0,5$) будет уменьшаться за счет снижения величины Z_{cp} (5). При этом Z_g равномерно уменьшается в обе стороны от $\alpha_k = 0,5$, принимая минимальное значение $1,0917 Z_{cp}$ при $\alpha_k = 0,1$ и $\alpha_k = 0,9$. Следовательно, утверждение [1] о том, что плечо внутренней пары усилий при треугольной и прямоугольной эпюрах распределения напряжений в сжатой зоне бетона незначительно отличаются между собой, не соответствует действительности. Проведенное исследование показало, что Z_g существенно зависит от относительной величины сжатой зоны бетона α_k и толщины стенки кольца $\eta = \frac{z_1}{z_2}$.

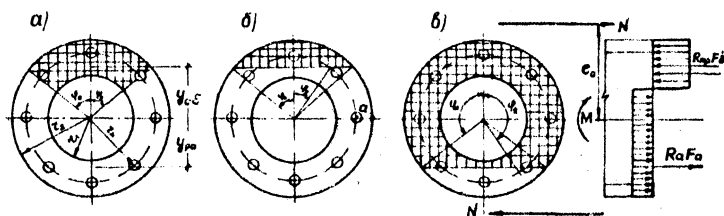


Рис. 1. Кольцевое сечение и схемы расположения внешних и внутренних усилий

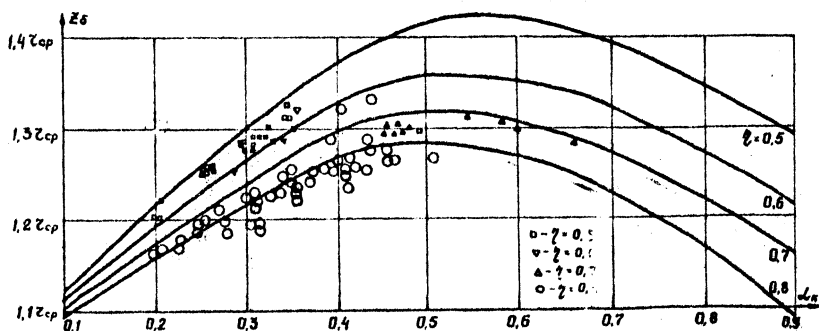


Рис. 2. График изменения Z_g в частях Z_{cp} в зависимости от α_k и η

Кривые (рис. 2) показывают, что с увеличением толщины стенки кольца наибольшее значение Z_5 смещается вправо, достигая максимума при $\alpha_k = 0,6$ и $\eta = 0,5$. С увеличением толщины стенки кольца несколько изменяется характер кривых. Их наклон на восходящем и нисходящем участках указывает на различные закономерности изменения плеча внутренней пары усилий.

Так как определение Z_{cp} требует некоторых вычислений, проведено исследование изменения этой величины в зависимости от параметра, непосредственно характеризующего кольцевое сечение, например, внешнего радиуса сечения Z_2 . Получено

$$Z_5 = Z_2 \sin \varphi_0 \left(\frac{1+\eta}{2\varphi_0} + \frac{1-\frac{\eta}{Z_2}}{\pi-\varphi_0} \right). \quad (6)$$

Кривые, выражающие изменения Z_5 в частях Z_2 в зависимости от α_k и η , приведены на рис. 3. График показывает, что с увеличением толщины стенки плечо внутренней пары усилий уменьшается. Максимальное значение Z_5 для $\eta < 0,8$ соответствует $\alpha_k = 0,6$.

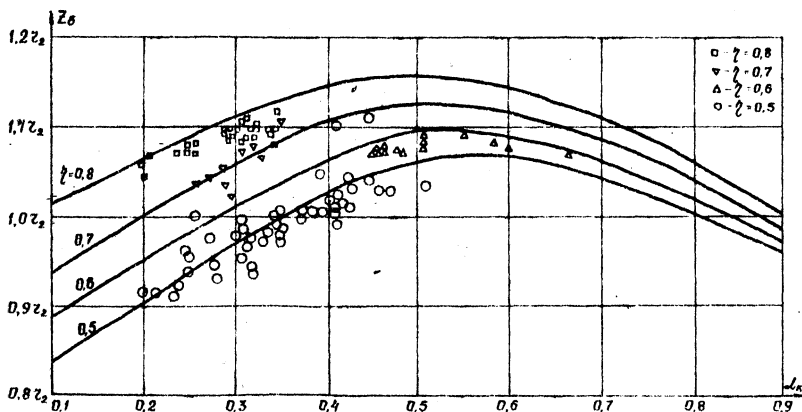


Рис. 3. График изменения Z_5 в частях Z_2 в зависимости от α_k и η

В действительных условиях работы элемента кольцевой фор-

мы, находящегося под воздействием внешней нагрузки, сжатая зона бетона будет выражена площадью сегмента или сегментной частью кольца (рис. 1, б, в). При этом в зависимости от положения нейтральной оси могут иметь место три случая. Первый случай соответствует состоянию, когда нейтральная ось проходит в пределах бетонного кольца. Граничным условием такого случая служит выражение $\cos \varphi_0 > \eta$. Если это условие не выполняется, т.е. $\cos \varphi_0 < \eta$, то нейтральная ось пересекает область пустотелого сердечника, что соответствует второму случаю. Во внецентренно сжатых элементах при большой величине α_k нейтральная ось может оказаться в пределах нижней части бетонного кольца (рис. 1, в). Этот случай имеет место при $\cos(\pi - \varphi_0) > \eta$.

Расстояние от центра тяжести сечения кольца до равнодействующей сжатой зоны бетона и растянутой арматуры для этих случаев описывается условиями

$$\cos \varphi_0 > \eta; \quad y_{cs} = \frac{2}{3} z_2 \frac{\sin^3 \varphi_0}{\varphi_0 - \cos \varphi_0 \sin \varphi_0}; \quad (7)$$

$$y_{pu} = z_a \frac{\sin \varphi_2}{\pi - \varphi_2}; \quad (8)$$

$$\cos \varphi_0 < \eta; \quad y_{cs} = \frac{2}{3} z_2 \frac{\sin \varphi_0 - \eta^3 \sin \varphi_1 + \cos^2 \varphi_0 (\eta \sin \varphi_1 - \sin \varphi_0)}{\varphi_0 - \eta^2 \varphi_1 + \cos \varphi_0 (\eta \sin \varphi_1 - \sin \varphi_0)}; \quad (9)$$

$$\cos(\pi - \varphi_0) > \eta; \quad y_{cs} = \frac{2}{3} z_2 \frac{\sin^3 \varphi_0}{\varphi_0 - \eta^2 \pi - \cos \varphi_0 \sin \varphi_0}. \quad (10)$$

Плечо внутренней пары усилий выразится:
для первого случая

$$z_s = \frac{2}{3} z_2 \frac{\sin^3 \varphi_0}{\varphi_0 - \cos \varphi_0 \sin \varphi_0} + z_a \frac{\sin \varphi_2}{\pi - \varphi_2}; \quad (11)$$

для второго случая

$$z_s = \frac{2}{3} z_2 \frac{\sin \varphi_0 - \eta^3 \sin \varphi_1 + \cos^2 \varphi_0 (\eta \sin \varphi_1 - \sin \varphi_0)}{\varphi_0 - \eta^2 \varphi_1 + \cos \varphi_0 (\eta \sin \varphi_1 - \sin \varphi_0)} + z_a \frac{\sin \varphi_2}{\pi - \varphi_2}; \quad (12)$$

для третьего случая

$$z_s = \frac{2}{3} z_2 \frac{\sin^3 \varphi_0}{\varphi_0 - \eta^2 \pi - \cos \varphi_0 \sin \varphi_0} + z_a \frac{\sin \varphi_2}{\pi - \varphi_2}. \quad (13)$$

Углы φ_2 и φ_0 связаны условием

$$\cos \varphi_2 = \frac{z_2}{z_d} \cos \varphi_0 \quad (I4)$$

Чтобы установить характер изменения плеча внутренней пары усилий при сжатой зоне бетона, выраженной площадями сегмента и сегментной частью кольца, пользуясь зависимостями (II), (I2) и (I3), построен график, показанный на рис. 4.

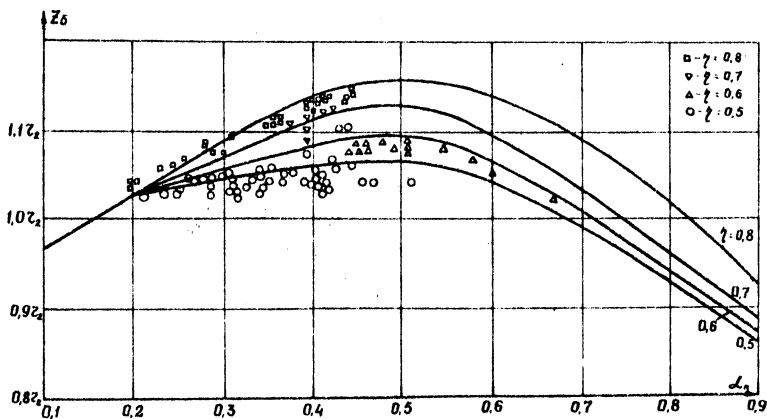


Рис. 4. График изменения z_2 в зависимости от α_k и η

Из графика и формул (7), (II) видно, что для случая, когда нейтральная ось расположена в бетоне (ее верхней части) плечо внутренней пары не зависит от толщины стенки кольца. Для случая, когда нейтральная ось пересекает область пустотелого сердечника характер изменения плеча внутренней пары аналогичен выражению сжатой зоны площадью секториальной части кольца (рис.3). Когда нейтральная ось проходит в нижней части бетонного кольца, что имеет место при внецентренном сжатии ($\alpha_k > 0,6+0,9$), плечо внутренней пары усилий определяется из условия (I3). Значительное приращение площади сжатой зоны при этом случае уменьшает ординату ее центра тяжести, а следовательно, и плеча внутренней пары усилий.

Таблица I

образ- цы	z_2 , см	z_1 , см	$z_a = z_{н\phi}$, см	$F_{н\phi}^2$, см ²	R_a^H , кгс/см ²	G_a , кгс/см ²	$G_{н\phi} = G_{н\phi}^H$, кгс/см ²	M_a , тс.м	M_T , тс.м	$E_a^{пр}$, 10 ⁵	R	опытное Δ_k
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	16,5	6,0	14,5	5,09	18050	17078	9385	8,86	5,20	189	303	0,3270
2	16,5	6,0	14,5	4,45	18050	16705	9950	8,14	4,73	206	353	0,3090
1	16,5	8,5	14,795	4,12	21000	18226	9960	7,71	4,865	196	240	0,4135
2	16,4	8,5	14,502	4,12	21000	18888	10000	7,88	4,77	187	252	0,4028
3	16,44	8,5	14,5	4,12	21000	19122	10030	8,53	5,37	190	292	0,3500
1	14,68	8,5	13,0	4,12	21000	20226	11660	6,38	3,555	184	272	0,5060
2	14,62	8,5	12,99	4,12	21000	21138	11600	6,79	3,645	202	293	0,4810
3	14,62	8,5	13,01	4,20	21000	21148	11560	7,53	3,685	206	351	0,4412
1	14,60	8,5	13,0	6,08	15600	13976	8295	7,04	3,59	195	291	0,5090
2	14,68	8,5	13,01	5,88	15600	14533	8250	7,40	4,24	210	312	0,4775
3	14,62	8,5	12,99	5,88	15600	14720	8190	7,44	4,23	219	317	0,4705
1	14,60	8,5	13,01	5,488	15353	11691	8450	6,30	3,80	208	308	0,4610
2	14,68	8,5	13,0	5,488	15353	12608	8500	6,62	3,88	205	314	0,4512
3	14,68	8,5	13,0	5,488	15353	14836	8485	7,22	3,96	217	324	0,4552
1	18,405	11,0	15,0	6,86	21610	19440	12000	9,60	6,455	204	204	0,6772
2	18,405	11,0	15,0	6,86	21610	18971	12000	10,90	6,535	187	242	0,6032
3	18,555	11,0	15,0	6,86	21610	19537	12000	11,4	6,65	193	247	0,5920
4	18,575	11,0	15,0	6,96	21610	18965	12000	12,54	7,455	201	286	0,5532
5	18,405	11,0	15,0	6,86	21610	18536	12000	13,30	7,88	218	324	0,4962
1	16,242	8,2	12,975	3,136	15010	16001	10710	4,9	2,295	206	343	0,2382

Продолжение таблицы I

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2	16,242	8,25	12,93	3,136	15010	16603	10710	5,4	2,59	201	411	0,2005
3	16,242	8,55	13,16	3,92	16010	7684	10810	5,89	2,945	210	360	0,2782
4	16,40	8,30	13,16	3,92	16010	8387	10710	5,7	2,76	180	302	0,3010
5	16,242	8,60	13,42	4,704	16010	11771	10710	7,04	3,645	200	326	0,3562
6	15,91	8,10	12,82	4,704	16910	10109	10710	7,73	4,17	228	512	0,2528
7	16,242	7,925	12,76	5,488	16010	10185	10710	8,09	4,345	212	408	0,3185
8	13,06	6,0	10,31	3,136	15010	16010	10710	4,0	2,54	192	342	0,3300
9	13,41	5,9	10,47	3,136	15010	16018	10710	3,92	2,085	197	410	0,2554
10	13,42	6,075	10,21	3,92	16010	12410	10710	4,66	2,406	210	362	0,3560
11	13,06	5,75	10,25	3,92	16010	12660	10710	4,16	2,155	196	303	0,4265
12	13,06	6,0	10,31	4,704	16010	16938	10710	5,36	2,91	204	326	0,4780
13	13,43	6,075	10,41	4,704	16910	11337	10710	5,96	3,42	220	513	0,3212
14	13,76	5,8	10,49	5,488	16010	12869	10710	6,38	2,77	169	408	0,4022
1	14,50	7,10	11,61	3,136	15010	16007	10710	4,5	2,14	217	341	0,2840
2	14,82	7,10	11,75	3,136	15010	16009	10710	4,46	-	-	410	0,2330
3	14,97	7,475	11,9	3,92	16010	11086	10710	5,6	2,415	206	361	0,3180
4	14,65	7,075	11,76	3,92	16010	14263	10710	5,4	-	-	302	0,3720
5	14,65	7,10	11,61	4,704	16010	14574	10710	6,10	3,165	205	325	0,3952
6	14,90	7,35	11,95	4,704	16910	8174	10710	6,75	3,5	205	511	0,3802
7	14,65	6,875	11,61	5,488	16010	12405	10710	7,12	3,445	219	407	0,4012
1	16,242	8,45	13,62	3,136	15010	15986	10710	5,85	2,76	189	343	0,3006
2	16,72	8,20	12,82	3,136	15010	16095	10710	6,25	2,95	208	412	0,2532
3	16,242	8,40	13,51	3,92	16010	14056	10710	7,62	3,812	210	360	0,3372

Продолжение таблицы I

	I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
4	15,75	7,95	12,76	3,92	16010	10449	10710	6,66	3,27	192	302	0,3936	
5	15,68	8,05	13,32	4,701	16010	16468	10710	8,58	4,407	207	326	0,4210	
6	15,91	8,20	12,80	4,704	16910	9903	10710	8,92	-	-	511	0,3092	
7	16,32	8,075	13,47	5,488	16010	8188	10710	8,91	4,73	203	408	0,3723	
8	13,06	6,10	10,42	3,136	15010	15856	10710	4,95	2,64	205	344	0,4069	
9	13,06	5,8	10,28	3,136	15010	15993	10710	4,86	2,67	198	413	0,3480	
10	13,06	5,95	10,32	3,92	16010	13659	10710	5,46	2,718	224	360	0,4410	
11	13,42	5,95	10,46	3,92	16010	10678	10710	4,96	2,57	197	302	0,4698	
12	13,42	6,0	10,39	4,704	16010	13007	10710	5,82	3,27	232	327	0,5042	
13	13,42	6,10	10,5	4,704	16910	9105	10710	6,58	3,665	219	513	0,3074	
14	13,53	6,10	10,68	5,488	16010	11983	10710	6,85	4,10	201	408	0,4750	
I	15,28	7,40	12,03	3,136	15010	15984	10710	5,66	-	-	343	0,3182	
2	14,97	7,30	12,03	3,136	15010	16002	10710	5,84	2,895	213	412	0,2852	
3	14,97	7,35	11,90	3,92	16010	15474	10710	6,46	2,995	196	361	0,3671	
4	14,65	7,04	11,71	3,92	16010	11047	10710	5,91	3,10	231	302	0,4268	
II 5	14,82	7,30	11,81	4,704	16010	15931	10710	7,56	3,93	215	326	0,4485	
6	14,90	7,35	11,89	4,704	16910	16950	10710	7,6	4,085	205	512	0,3328	
7	14,97	7,10	11,90	5,488	16010	10596	10710	8,05	4,385	228	409	0,4105	

Примечание. В образцах последних двух серий дополнительно поставлено по 8 ϕ 7 А-III, $\sigma_T = 3950 \text{ кгс/см}^2$.

На графиках (рис. 2,3,4) нанесены точки по опытным данным автора (табл. I) и других исследователей [2]. Значения плеч внутренней пары усилий определены расчетом по предлагаемым формулам. Приведенные опытные данные подтверждают характер изменения плеча внутренней пары усилий для трех случаев работы элемента кольцевого сечения.

Л и т е р а т у р а

1. КУДИС А.П. Железобетонные конструкции кольцевого сечения, Вильнюс, "Минтис", 1975.
2. КУРНОСОВ А.И., ГОРЯЧЕВ Б.П., ПОПОВ В.В. Стойки опор линий электропередач с арматурой класса А-У. "Бетон и железобетон", № II, 1972.

Т.М.Пецольд, В.Г.Казачек

УДК 624.075.46.23

ВЛИЯНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ СЖАТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ КРАТКОВРЕМЕННОМ ДЕЙСТВИИ НАГРУЗКИ

Для выявления влияния предварительного напряжения на работу железобетонных колонн были поставлены опыты. Образцы прямоугольного сечения имели следующий диапазон переменных параметров: отношение $\frac{L_0}{h} = 10,0-49,4$; относительный эксцентриситет приложения нагрузки $i = \frac{e_0}{h} = 0-2,0$; суммарный процент армирования $\mu (\%) = 0,447 \div 3,260$; призмная прочность бетона к моменту испытания $R_{пр} = 400 \div 800 \text{ кгс/см}^2$. Относительные величины прочности бетона в момент передачи напряжения и установившегося обжатия соответственно будут $k_{т.0} = \frac{R_{пр.0}}{R_{пр}} = 0,5-1,0$ и $\eta = \frac{\sigma_{0y}}{R_{пр}} = 0 \div 0,41$. Размеры поперечного сечения $b \times h$ от $7,62 \times 5,13$ (см) до $22,0 \times 15,0$ (см). Результаты обработки полученных в исследованиях данных приведены на рис. I.