

СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА

Р. С. АВЕТИСЯН, А. А. ВАРТАПЕТЯН

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ  
 ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТЫХ КОРОТКИХ КОЛОНН  
 ИЗ ЛЕГКОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

Общий метод определения несущей способности сечений железобетонных элементов при различных силовых воздействиях предложен И. А. Пастернаком [1, 2]. При прямоугольной эпюре напряжений в бетоне сжатой зоны общий метод приводит к унифицированным расчетным формулам, принятым в действующих нормах [3]. Поскольку легкий бетон является более упругим материалом, чем тяжелый, то принятие прямоугольной эпюры напряжений в сжатой части сечения элементов из легкого железобетона, с целью более или менее точной оценки их несущей способности при внецентренном сжатии, представляется спорным. Строгое решение этой задачи основывается на действительной зависимости между напряжениями и деформациями бетона и арматуры.

Многообразие механических характеристик материалов и сложная закономерность изменения напряжений в сечении элемента ограничивает возможность решения задачи в общем виде. Следуя Г. А. Гениеву [4], в статье предложен метод определения несущей способности коротких колонн при внецентренном сжатии в предположении, что работа бетона и арматуры соответствует диаграмме Прандтля. Для упрощения задачи принята идеализированная диаграмма  $\sigma - \epsilon$ , аппроксимирующая действительную (рис. 1), и гипотеза плоских сечений в сечении с трещиной. Приемлемость предлагаемого метода определения несущей способности проверена экспериментально на образцах коротких колонн из легкого железобетона.

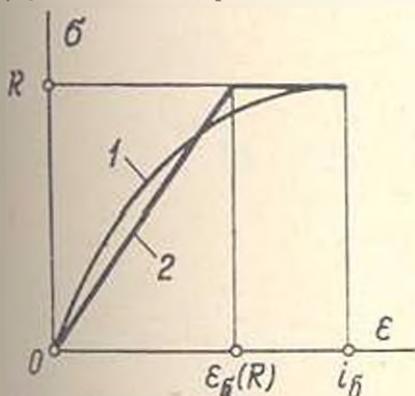


Рис. 1. Диаграммы «напряжение-деформация» при сжатии: 1 — действительная, 2 — аппроксимированная.

Рассматриваются колонны прямоугольного сечения при больших (случай 1) и малых (случай 2) эксцентриситетах приложения нагрузки.



$$\frac{c_1 + c_2}{c_2} = \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_0(R)}; \quad (3)$$

$$\frac{c_1 + c_2}{h_0 - (c_1 + c_2)} = \frac{\varepsilon_s}{i_a}. \quad (4)$$

Здесь  $N$  — внешнее усилие;  $c_1$  — длина пластической части эпюры напряжений сжатой зоны бетона;  $c_2$  — длина ее упругой части;  $b$  — ширина сечения;  $i_a$  — деформация арматуры, соответствующая пределу текучести стали;  $\varepsilon_s(R)$  — упруго-пластическая деформация бетона.

2. Граница между первым и вторым случаями внецентренного сжатия (рис. 2, б). Расчетные уравнения принимают вид:

$$N = R_a c_1 b + 0,5 R_{ac} c_2 b - \sigma_s F_a + \sigma_s' F_a'; \quad (5)$$

$$N(0,5h - e_0) = 0,5 R_a c_1^2 b + 0,5 R_{ac} c_2 b \left( c_1 + \frac{c_2}{3} \right) - \sigma_s F_a h_0 + \sigma_s' F_a' a'; \quad (6)$$

$$\frac{c_1 + c_2}{c_2} = \frac{i_b}{\varepsilon_0(R)}; \quad (7)$$

$$\frac{c_1 + c_2}{h_0 - (c_1 + c_2)} = \frac{i_b}{i_a}. \quad (8)$$

Здесь  $i_b$  — предельная деформация бетона при сжатии.

3. Внецентренное сжатие с малыми эксцентриситетами приложения нагрузки (случай 2). В рассматриваемом случае наиболее напряженное сечение может быть сжато частично или полностью.

а) Частично сжатое сечение (рис. 2, в). Исходя из условий равновесия и принятых предположений, расчетные уравнения принимают вид:

$$N = R_a c_1 b + 0,5 R_{ac} c_2 b - \sigma_s F_a + \sigma_s' F_a'; \quad (9)$$

$$Ne = R_a b (h_0 - 0,5 c_1) + 0,5 R_{ac} b \left( h_0 - c_1 - \frac{c_2}{3} \right) + \sigma_s' F_a' (h_0 - a'); \quad (10)$$

$$\frac{c_1 + c_2}{c_2} = \frac{i_b}{\varepsilon_0(R)}; \quad (11)$$

$$\frac{c_1 + c_2}{h_0 - (c_1 + c_2)} = \frac{i_b}{i_a}. \quad (12)$$

Здесь  $\sigma_s$  и  $\varepsilon_s$  — соответственно напряжения и деформации растянутой арматуры при разрушении;  $\sigma_s'$  — напряжения в сжатой арматуре.

б) Полностью сжатое сечение (рис. 2, г). Расчетные уравнения представляются в виде:

$$N = R_{ac} c_1 b + 0,5 (\sigma_s + R_{sp})(h - c_1) b + \sigma_s F_a - \sigma_s' F_a'; \quad (13)$$

$$Ne = 0,5 R_{sp} b h^2 + \sigma_s' F_a' (h_0 - a'); \quad (14)$$

$$\frac{c_1 + c_2}{c_2} = \frac{i_b}{\varepsilon_0(R)}; \quad (15)$$

$$\frac{c_1 + c_2}{c_1 + c_2 - h} = \frac{i_0}{\varepsilon_0} \quad (16)$$

Следуя [3], в уравнении (14) принято

$$M_0 = R_{np} S_0 = 0,5 R_{np} b h^2 = \text{const.}$$

и) *Граничный случай.* Характерным является то, что в предельном состоянии напряжение в арматуре, наиболее удаленной от точки приложения продольной силы, равно нулю (рис. 2, а), т. е.  $c_1 + c_2 = h_0$ . Расчетные уравнения принимают вид:

$$N = R_{np} c_1 b + 0,5 R_{np} c_2 b + z_1 F_a \sigma_s \quad (17)$$

$$Ne = R_{np} b c_1 (h_0 - 0,5 c_1) + 0,5 R_{np} b c_2 \left( h_0 - c_1 - \frac{c_2}{3} \right) + z_1 F_a (h_0 - a'); \quad (18)$$

$$\frac{c_1 + c_2}{c_2} = \frac{i_0}{i_0(R)} \quad (19)$$

4. *Сопоставление расчетных уравнений с экспериментальными данными.* Результаты расчета по приведенным формулам при  $F_0 = F_1$  были сопоставлены с экспериментальными данными для коротких колонн из легкого бетона на литоидной немзе. Методика испытаний приведена в [5]. Физико-механические свойства бетонов экспериментальных образцов следующие: для серий III и V —  $R = 280 \text{ кг/см}^2$ ,  $E_0 = 166000 \text{ кг/см}^2$ , коэффициент упругости  $\nu = 0,8$ ; для серий IV и VI —  $R = 415 \text{ кг/см}^2$ ,  $E_0 = 183000 \text{ кг/см}^2$ ,  $\nu = 0,9$ . Величины  $R_0$  определялись интерполяцией по СНиП [3]. Начальный эксцентриситет принимался для образцов серий III и IV равным  $e_0/h = 0,167$ , а для образцов серий V и VI —  $e_0/h = 0,5$ . Значения  $N_3$ ,  $i_0$  и  $i_1$  при эксцентриситетном сжатии с малыми эксцентриситетами приложения нагрузки определялись прямыми измерениями при испытании образцов, а по формулам (3), (4), (11) и (12) определялись величины упругой и пластической зон сжатого бетона. Предельные расчетные нагрузки  $N$  определялись по формулам (1) и (9). Усилие  $N^0$  вычислялось по СНиП [3]. Сопоставление расчетных и экспериментальных значений предельных нагрузок приведено в табл. 1.

Опытные значения предельной силы  $N$  при малых эксцентриситетах приложения нагрузки в среднем на 15--20% превышают расчетные, вычисленные по формуле (1). Это, в основном, результат несоответствия между принятой по расчету и фактической площадью анкеры напряжений, а также перехода сжатой арматуры в зону упрочнения вследствие повышенной предельной сжимаемости легкого бетона. Так, например, отношение  $N_3/N$  для образцов серии IV (случай 2) больше, чем для образцов серии III. Явление перехода сжатой арматуры в зону упрочнения оказывает существенное влияние на несущую способность колонны. Поэтому определение теоретической несущей способности колонны  $N$  при малых эксцентриситетах приложения нагруз-

Таблица 1

Составление расчетных и экспериментально полученных предельных усилий для образцов внецентренно сжатых коротких колонн

Номера образцов	$\tau_1, \text{кг/см}^2$	$\tau_{\text{н}}, \text{кг/см}^2$	$F_n = F'_n, \text{см}$	$t_0 \cdot 10^{-5}$	$\epsilon_n \cdot 10^{-5}$	$\tau_0 \cdot 10^{-5}$	Предельные нагрузки, в тоннах			$\frac{N_s}{N}$	$\frac{N_s}{N^*}$
							экспериментальные $N_s$	расчетные по предлагаемому методу $N$	расчетные по СНиП [3] $N^*$		
Большие эксцентриситеты, $e_0/h = 0,5$ (случай 1)											
V-5	3550	5430	2,38	—	—	250	25,4	26,8	29,6	0,95	0,86
V-6	3550	5430	2,38	—	—	260	26,0	25,7	29,1	1,01	0,89
VI-5	3240	5130	2,36	—	—	194	27,3	28,5	34,1	0,96	0,80
VI-6	3240	5130	2,36	—	—	215	27,3	27,0	34,3	1,01	0,79
VI-7	3320	5670	5,40	—	—	270	41,0	42,9	53,0	0,96	0,77
VI-8	3320	5670	5,40	—	—	272	41,0	43,2	52,1	0,95	0,78
Малые эксцентриситеты, $e_0/h = 0,167$ (случай 2)											
III-4	3000	4320	1,06	310	50	—	56,5	50,5	54,1	1,12	1,04
III-5	3420	5210	2,36	311	34	—	63,1	60,1	61,5	1,05	1,03
III-6	3420	5210	2,36	312	37	—	58,5	61,0	61,7	0,98	0,95
III-7	3370	5710	5,40	387	35	—	69,6	67,8	74,4	1,00	0,93
III-8	3370	5710	5,40	430	32	—	70,2	72,0	75,5	0,98	0,93
IV-3	3000	4320	1,06	440	38	—	98,0	84,8	73,4	1,15	1,34
IV-4	3000	4320	1,06	431	35	—	97,5	83,3	80,0	1,18	1,22
IV-6	3520	5440	2,36	388	22	—	104,0	90,8	86,6	1,14	1,20
IV-7	3310	5660	5,38	398	10	—	123,0	111,0	99,0	1,10	1,24
IV-8	3310	5660	5,38	481	21	—	109,0	115,0	99,2	0,95	1,10

ки производилось с учетом упрочнения арматуры. Сопоставление опытных и теоретических значений предельных усилий как при малых, так и при больших эксцентриситетах приложения нагрузки показало удовлетворительную сходимость (не более 18% в сторону запаса).

Анализ данных табл. 1 показал, что расчетные формулы СНиП [3] для сжатых колонн с большими эксцентриситетами приложения нагрузки дают явно завышенные результаты. Как видно из приведенных сопоставлений, несущая способность колонн при больших эксцентриситетах приложения нагрузки может быть достаточно точно определена предлагаемыми формулами.

**Выводы.** Дан метод определения несущей способности внецентренно сжатых коротких колонн с учетом предельных деформаций бетона и арматуры. При этом, теоретическая несущая способность по предлагаемым формулам дает лучшую сходимость с результатами экспериментов, чем несущая способность, определенная по формулам СНиП II—В. 1—62. На основании предлагаемых формул может быть определена и граница между первым и вторым случаями внецентренного сжатия.

Армянский НИИ стройматериалов  
и сооружений

Поступило 29.1.1970.

Ռ. Ս. ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ, Ա. Ա. ՎԱՐԴԻՊԵՏՅԱՆ

ԹԻՔԵԿ ԵՐԿԱՔՐԵՏՈՆԵՆ ԱՐՏԱԿԵՆՏՐԱՆ ՍԵՂՈՎԱՆ ԿԱՐՃ ՍՅՈՒՆԻՄԻ  
ԿՐՈՂՈՒՆԱԿՈՒԹՅԱՆ ԻՐՈՇՈՒՆ ԸՍՐՑԻ ՇՈՒՐՋԸ

Ա մ փ ո փ ու լ մ

Առաջարկվում է արտակենտրոն սեղմման զեղբում կարճ սյուների հաշվարկի մեթոդ ներկայացնել, որ բնտանի ու ամրանի աշխատանքը համապատասխանում է Պրանդտլի դիպրամին: Մտադիված են անալիտիկ արտահայտություններ, որոնք համապատասխանում են մեծ և փոքր արտակենտրոնություններով սեղմելիս հնարավոր լարվածային դիճակներին:

Կատարված է թվային երկաթբետոնե սյուների կրողունակությունների էքսպերիմենտալ և հաշվարկային մեծությունների համադրում, որը ցույց է տվել լարվարար զուգամիտություն:

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Пастернак П. А. Замечания к проекту новых норм проектирования железобетонных конструкций. „Строительная промышленность“, № 7, 1944.
2. Пастернак П. А. Комплексные конструкции. Стройвоенинформат, 1948.
3. Строительные нормы и правила. Бетонные и железобетонные конструкции. СНиП II—В. 1—62. Госстройиздат, 1962.
4. Гениев Г. А. Исследовалио несущей способности внецентренно сжатых гибких железобетонных и армокаменннх колонн. Труды ЦНИПС „Исследования по строительной механике“, М., 1962.
5. Виртапетян А. А. Экспериментальное исследование несущей способности коротких сжатых элементов из легкого железобетона. Научные сообщения АИСМ. вып. 8, Ереван, 1966.