

**К РАСЧЕТУ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН
С УЧЕТОМ ДИАГРАММЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ
ОГРАНИЧЕННОГО БЕТОНА**

**TO CALCULATE THE LOAD BEARING CAPACITY
OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS
WITH ACCOUNT DIAGRAM DEFORMATION
OF CONFINED CONCRETE**

A.G. TAMRAZYAN
A.G. TAMRAZYAN

(Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет)
(National Research Moscow State University of Civil Engineering)
E-mail: tamrazian@mail.ru

В работе рассмотрен эффект ограничения бетонного ядра железобетонной колонны, получаемый благодаря поперечной арматуре различной формы, а также предложена расчетная методика для построения диаграмм несущей способности ограниченного бетона.

In this paper, we consider the effect of restriction of the concrete core of a reinforced concrete column, obtained through transverse reinforcement of various shapes, and also proposed a calculation method for constructing diagrams of the bearing capacity of confined concrete.

Ключевые слова: железобетонная колонна, ограниченный бетон, поперечная арматура, максимальная несущая способность.

Keywords: reinforced concrete column, confined concrete, transverse stirrup, maximal load bearing capacity.

Расчет железобетонных колонн различных зданий и сооружений, в том числе в текстильной промышленности, с учетом специфики их эксплуатационного режима сопряжен с поиском резервов несущей способности.

Колонны считают самыми ответственными элементами в конструкциях. Анализ колонн без условий ограничения деформаций хорошо рассмотрен в литературе [1...4]. Строительные нормы устанавливают требования обжатия железобетонных колонн для безопасности.

Только недавно своды правил начали оценивать важность представления случаев экстремальной загрузки, что требует изучения поведения конструкций, находящихся в условиях ограниченных поперечных деформаций.

Ограничение добавляет другое направление к анализу колонн, поскольку это увеличивает несущую способность и пластичность колонны.

Соответственно, для сжатых элементов в условиях ограниченных поперечных деформаций нужен особенный нелинейный анализ для получения точных предсказаний.

Тем не менее, в литературе недостаточно освещены инструменты анализа конструкций, находящихся в условиях ограничения [5].

Одной из моделей, наиболее точно описывающих поведение ограниченного бетона, является модель [6]. Она была разработана на основе эффективного поперечного стесняющего давления f'_c и коэффициента эффективности ограничения k_e . Ее преимущество заключается в применимости к сечению любой формы, так как она описывает

боковое давление на основе его геометрических размеров. В ней показана возможность использования для круглых и прямоугольных сечений под статической или динамической нагрузкой, а также под постоянной или циклической нагрузкой. Для получения полной кривой НДС и оценки пластичности используется энергетический принцип с целью определения максимальной продольной деформации в бетоне.

Получено уравнение для продольных напряжений и деформаций бетона из модели [7], которая изначально была разработана для неограниченного бетона:

$$R_b = \frac{R_{cb} \cdot x^r}{r - 1 + x^r}, \quad (1)$$

где $x = \frac{\epsilon_b}{\epsilon_{cb}}$, $r = \frac{E_b}{E_b - E_{sec}}$, $E_b = 4723 \sqrt{R_b}$,

$$E_{sec} = \frac{R_{cb}}{\epsilon_{cb}},$$

а предельная деформация, соответствующая максимальной прочности ограниченного бетона R_{cb} :

$$\epsilon_{cb} = \epsilon_c \left[1 + 5 \left(\frac{R_{cb}}{R_b} - 1 \right) \right]. \quad (2)$$

Параметры данной модели при центральной сжатии отражены на рис. 1.

На представленном рис. 1 можно увидеть две кривые. Одна из них для неограниченного бетона (нижняя), другая для ограниченного (верхняя). Верхняя кривая представляет

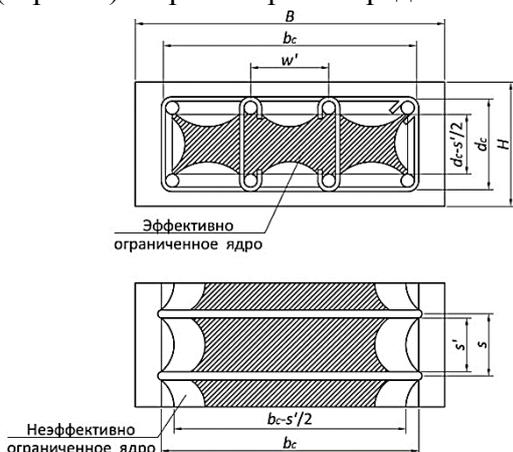


Рис. 2

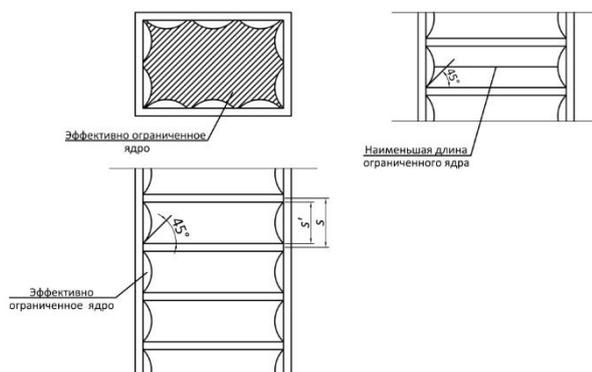


Рис. 3

собой две ветви – восходящую и нисходящую. Восходящая ветвь имеет переменный угол наклона и начинается в точке со значением E_b . Далее ее наклон постепенно уменьшается до тех пор, пока не будет достигнуто значение максимальной ограниченной прочности R_{cb} , ϵ_{cb} . Далее начинается нисходящая ветвь с небольшим отрицательным наклоном, отражающая пластичное поведение. Своим концом она имеет точку с максимальной деформацией ϵ_{bu} , в которой происходит разрушение первого хомута. Нижняя кривая отражает поведение неограниченного бетона. Она имеет такую же восходящую ветвь, как и кривая ограниченного бетона, с пиковым значением R_b , ϵ_{bo} . Затем следует нисходящая ветвь до значения $1,5 \dots 2 \epsilon_{bo}$. После этого зависимость представляет собой прямую до момента достижения нулевой прочности при появлении трещин ϵ_{sp} .

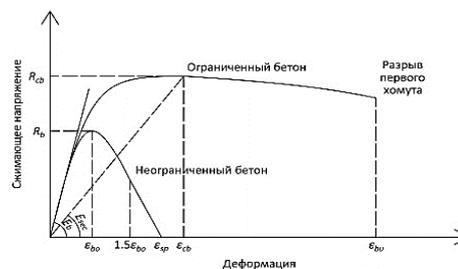


Рис. 1

Предполагается, что площадь ограниченного бетона для прямоугольного сечения колонн представляет собой площадь внутри центральных линий периметра спиральной арматуры или хомутов A_{cc} , как показано на рис. 2.

Из рис. 3 следует, что площадь эффективно ограниченного бетонного ядра A_e меньше, чем площадь ядра внутри центральных линий спиральной арматуры или хомутов, за исключением площади продольной арматуры A_{sc} .

Таким образом, для удовлетворения этого условия эффективно боковое ограничивающее давление σ'_l должно является частью полного бокового давления σ_l :

$$\sigma'_l = k_e \sigma_l, \quad (3)$$

а коэффициент эффективности ограничения k_e определяется как отношение эффективно ограниченной площади A_e к площади внутри центральных линий спиральной арматуры или хомутов, за исключением площади продольной арматуры A_{sc} :

$$k_e = \frac{A_e}{A_{cb}}, \quad (4)$$

где $A_{cb} = A_b - A_{s\ell}$; $\frac{A_{cb}}{A_b} = 1 - \frac{A_{s\ell}}{A_b}$;

$A_{cb} = A_b (1 - \mu_{cb})$; A_b – площадь ядра внутри хомутов; A_s – площадь продольной арматуры; μ_{cb} – отношение A_s/A_b .

Общая неэффективная площадь ограниченного ядра в уровне хомутов при их количестве, равном n :

$$A_e = \lambda b_c d_c \left(1 - \frac{s'}{2b_c}\right) \left(1 - \frac{s'}{2d_c}\right) = \frac{1}{b_c d_c} \left(b_c d_c - \sum_{i=1}^n \frac{(w'_i)^2}{6} \right) b_c d_c \left(1 - \frac{s'}{2b_c}\right) \left(1 - \frac{s'}{2d_c}\right). \quad (8)$$

$$A_e = \left(b_c d_c - \sum_{i=1}^n \frac{(w'_i)^2}{6} \right) \left(1 - \frac{s'}{2b_c}\right) \left(1 - \frac{s'}{2d_c}\right). \quad (9)$$

После подстановки получим:

$$k_e = \frac{b_c d_c \left(1 - \sum_{i=1}^n \frac{(w'_i)^2}{6b_c d_c}\right) \left(1 - \frac{s'}{2b_c}\right) \left(1 - \frac{s'}{2d_c}\right)}{b_c d_c (1 - \mu_{cb})} = \frac{\left(1 - \sum_{i=1}^n \frac{(w'_i)^2}{6b_c d_c}\right) \left(1 - \frac{s'}{2b_c}\right) \left(1 - \frac{s'}{2d_c}\right)}{1 - \mu_{cb}}. \quad (10)$$

$$A_i = \sum_{i=1}^n \frac{(w'_i)^2}{6}. \quad (5)$$

С учетом того, что граница эффективно сжатой зоны между двумя соседними хомутами имеет форму квадратной параболы с начальным углом наклона 45° , отношение площади эффективно ограниченного бетона к площади ядра в уровне связей будет следующим:

$$\lambda = \frac{\left(A_{et} - \sum_{i=1}^n \frac{(w'_i)^2}{6} \right)}{A_{et}}, \quad (6)$$

где $A_{et} = b_c d_c$.

Площадь ограниченного бетона в сечении посередине между двумя последовательными хомутами:

$$\begin{aligned} A_{emf} &= \left(b_c - \frac{s'}{2} \right) \left(d_c - \frac{s'}{2} \right) = \\ &= b_c d_c \left(1 - \frac{s'}{2b_c} \right) \left(1 - \frac{s'}{2d_c} \right). \end{aligned} \quad (7)$$

Следовательно, эффективная площадь в среднем сечении:

Отношение объема поперечного армирования в направлении x и y к площади ограниченного ядра μ_x и μ_y будет определяться как:

$$\mu_x = \frac{A_{sx} b_c}{s b_c d_c} = \frac{A_{sx}}{s d_c},$$

$$\mu_y = \frac{A_{sy} d_c}{s b_c d_c} = \frac{A_{sy}}{s b_c},$$
(11)

где A_{sx} , A_{sy} – общая площадь поперечной арматуры в направлении x и y соответственно. Эффективное боковое ограничивающее давление в направлении x и y будет равно:

$$\sigma'_{lx} = k_e \mu_x f_{yh}, \quad \sigma'_{ly} = k_e \mu_y f_{yh}. \quad (12)$$

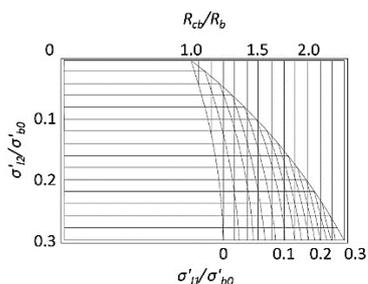


Рис. 4

ВЫВОДЫ

На основании вышеописанной модели предложена методика для определения максимальной несущей способности ограниченного бетона (рис. 4), которая, по сути, является алгоритмом для программы расчета колонн различного сечения, использующая в своей основе МКЭ [8].

ЛИТЕРАТУРА

1. Tamrazyan A. Reduce the impact of dynamic strength of concrete under fire conditions on bearing capacity of reinforced concrete columns // Applied Mechanics and Materials. – V. 475...476, 2014. P.1563...1566.
2. Tamrazyan A., Avetisyan L. Estimation of Load Bearing Capacity of Eccentrically Compressed Reinforced Concrete Elements Under Dynamic Loading in Fire Conditions // Applied Mechanics and Materials. – V. 638...640, 2014. P. 62...65.

3. Тамразян А.Г., Аветисян Л.А. Расчет внецентренно сжатых железобетонных элементов на кратковременную динамическую нагрузку // Строительство: наука и образование. – 2013, № 4. С. 2.

4. Тамразян А.Г. Динамическая устойчивость сжатого железобетонного элемента как вязкоупругого стержня // Вестник МГСУ. – 2011, № 1-2. С.193...196.

5. Тамразян А.Г. Бетон и железобетон: проблемы и перспективы // Промышленное и гражданское строительство. – 2014, № 7. С. 51...54.

6. Mander J.B., Priestley M.J.N. and Park R. Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete // Journal of Structural Engineering, ASCE. – V.114, №8, 1988. P. 1827...1849, August 1988.

7. Ahmed Mohsen Abd El Fattah. PhD thesis. – Kansas state university, USA, P. 318...324, 341...348.

8. Popovics S. (1973). A Numerical Approach to the Complete Stress-Strain Curves of Concrete // Cem. Concr. Res. – 3(5), 1973. P.583...590.

REFERENCES

1. Tamrazyan A. Reduce the impact of dynamic strength of concrete under fire conditions on bearing capacity of reinforced concrete columns // Applied Mechanics and Materials. – V. 475...476, 2014. P.1563...1566.

2. Tamrazyan A., Avetisyan L. Estimation of Load Bearing Capacity of Eccentrically Compressed Reinforced Concrete Elements Under Dynamic Loading in Fire Conditions // Applied Mechanics and Materials. – V. 638...640, 2014. P. 62...65.

3. Tamrazjan A.G., Avetisjan L.A. Raschet vnecentrenno szhatyh zhelezobetonnyh jelementov na kratkovremennuju dinamicheskiju nagruzku // Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie. – 2013, № 4. S. 2.

4. Tamrazjan A.G. Dinamicheskaja ustojchivost' szhatogo zhelezobetonного jelementa kak vjazko-uprugogo sterzhnja // Vestnik MGSU. – 2011, № 1-2. S.193...196.

5. Tamrazjan A.G. Beton i zhelezobeton: problemy i perspektivy // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2014, № 7. S. 51...54.

6. Mander J.B., Priestley M.J.N. and Park R. Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete // Journal of Structural Engineering, ASCE. – V.114, №8, 1988. P. 1827...1849, August 1988.

7. Ahmed Mohsen Abd El Fattah. PhD thesis. – Kansas state university, USA, P. 318...324, 341...348.

8. Popovics S. (1973). A Numerical Approach to the Complete Stress-Strain Curves of Concrete // Cem. Concr. Res. – 3(5), 1973. P.583...590.

Рекомендована кафедрой железобетонных и каменных конструкций. Поступила 15.04.18.