

Н. А. ИЛЬИН
С. С. МОРДОВСКИЙ
Е. Е. ВАСИЛЬЕВА
В. Н. ТАЛАНОВА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ АРМАТУРЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ КОЛОННЫ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ

DETERMINATION OF THE AREA OF REINFORCEMENT OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS OF CIRCULAR CROSS SECTION

Разработано математическое выражение по определению площади сечения арматуры внецентренно сжатой железобетонной колонны круглого сечения, позволяющее упростить учет влияния конструктивных показателей и параметров качества арматуры и бетона на требуемую площадь продольной арматуры железобетонной колонны. Показан пример использования данной формулы в расчете. Приведенное математическое выражение может быть использовано при проектировании железобетонных колонн, стоек линий электропередач и опор круглого сечения как наименее трудоемкий способ инженерного расчета, позволяющий определить площадь сечения продольной арматуры.

Ключевые слова: железобетонная колонна круглого сечения, внецентренное сжатие, влияние прогиба, площадь арматуры

Расчет прочности колонн круглого сечения с арматурой, равномерно распределенной по окружности (рис. 1), производится по приложению Д действующего свода правил СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003» с использованием относительной площади сжатой зоны бетона в зависимости от величины продольного усилия. При этом существуют некоторые ограничения для правомерности использования этих формул, например, применение класса арматуры не выше А400, количество стержней продольной арматуры не менее семи.

Применение приведенных в СП 63.13330.2012 расчетных формул для ручного инженерного счета осложнено тем, что значение относительной площади сжатой зоны бетона одновременно входит в уравнения как самостоятельный член и как переменная под знаком синуса. Поэтому для решения данной задачи предпочтительно применение вычислительной техники с организацией цикла итерационного исчисления. Для решения задачи определения площади продольной арматуры по формулам приложения Д свода правил СП 63.13330.2012 разработана программа для ЭВМ [1] и составлена заявка для ее государственной регистра-

A mathematical expression has been developed for determining the cross-sectional area of reinforcement of an eccentrically compressed reinforced concrete column of circular cross section, which makes it possible to simplify consideration of the influence of structural indicators and quality parameters of reinforcement and concrete on the required area of longitudinal reinforcement of reinforced concrete column. An example of using this formula in the calculation is shown. This mathematical expression can be used in the design of reinforced concrete columns, racks of power lines and circular supports as the least time-consuming method of engineering calculation, allowing to determine the cross-sectional area of longitudinal reinforcement.

Keywords: round reinforced concrete column, eccentric compression, deflection effect, reinforcement area

ции в Федеральной службе по интеллектуальной собственности. В основу решения заложены алгоритмы с организацией итерационных циклов.

Определение площади арматуры внецентренно сжатого железобетонного элемента круглого сечения может осуществляться с использованием графиков Пособия по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры (к СП 52-101-2003) (чертеж 3.33).

Использование этих графиков (номограмм) для определения требуемой площади арматуры железобетонной колонны круглого сечения дает результаты расчета с большей погрешностью; в ряде случаев требуется графическая интерполяция и дополнительное построение графиков номограммы (Пособие к СП 52-101-2003); это приводит к увеличению объема программы расчета требуемой площади арматуры железобетонной колонны на ЭВМ, к повышению трудозатрат проектирования, снижению точности и экспрессивности определения величины площади арматуры железобетонной колонны круглого сечения.

В настоящее время действующие отечественные нормативные документы (СП 63.13330.2012)

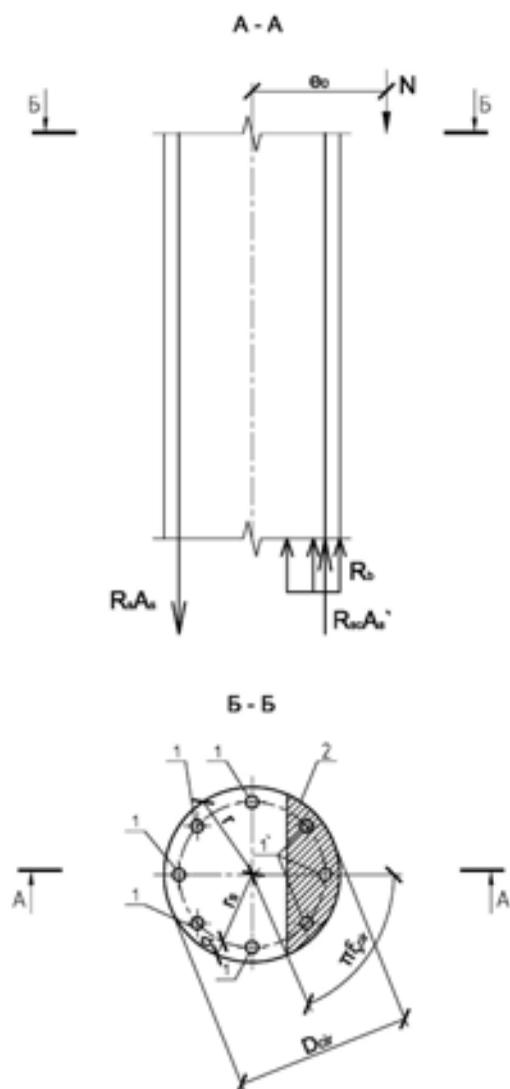


Рис. 1. Схема расчета требуемой площади продольной арматуры колонны круглого сечения:

А-А – продольное сечение, Б-Б – поперечное сечение: 1 – продольная растянутая арматура; 1' – продольная сжатая арматура; 2 – бетон; N – продольная сила, кН; e_0 – эксцентриситет продольной силы относительно центра тяжести приведенного сечения, мм; D_{cir} – диаметр железобетонной колонны, мм; r – радиус круглого сечения, мм; r_s – радиус окружности, проходящей через центры стержней продольной арматуры, мм; a – расстояние от грани колонны до радиуса окружности r_s , проходящей через центры тяжести стержней продольной арматуры, мм; ξ_{cir} – относительная площадь сжатой зоны бетона

регламентируют выполнять расчеты нормальных сечений по нелинейной деформационной модели, предусматривающей применение законов деформирования материалов в виде диаграмм деформирования [2–5]. На сегодняшний день нелинейная деформационная модель расчета внедрена в различные международные и национальные нормы проектирования железобетонных конструкций. Однако

при использовании нелинейной деформационной модели количество требуемых вычислений резко возрастает, вместе с этим повышается сложность расчетов, что предопределяет обязательное применение вычислительной техники. Для инженерного подхода к решению задачи по определению площади арматуры железобетонной колонны круглого сечения рекомендуется применять представленные ниже формулы.

Сущность технического решения, изложенного в данной статье, заключается в усовершенствовании учета влияния прогиба колонны и величины расчетных нагрузок на требуемую площадь продольной арматуры внецентренно сжатого железобетонного элемента круглого сечения, в упрощении математического описания конструктивных параметров, в сокращении объема программы расчета на ЭВМ, в снижении трудозатрат на проектирование несущих железобетонных конструкций.

Определение площади сечения рабочей продольной арматуры железобетонной колонны круглого сечения проводят в следующей последовательности: вычисляют расчетную длину железобетонной колонны, диаметр поперечного сечения; устанавливают вид бетона и его класс по прочности на сжатие, вид продольной арматуры и ее класс по прочности, находят показатели качества бетона и арматуры; вычисляют величину продольной силы, ее эксцентриситет и расчетный изгибающий момент в опасном сечении колонны; используя показатели глубины заложения арматуры δ_a , находят относительные величины изгибающего момента α_m и продольной силы α_n и коэффициент увеличения эксцентриситета продольной силы с учетом прогиба колонны η ; определяют показатель насыщения бетонного сечения продольной арматурой α_s ; вычисляют требуемую площадь сечения арматуры $A_{s,tot,расч}$ железобетонной колонны круглого поперечного сечения.

Предлагается определять требуемую площадь сечения продольной арматуры $A_{s,tot,расч}$ железобетонной колонны круглого сечения по формуле

$$A_{s,tot,расч} = \frac{\pi \cdot D_{cir}^2}{4} \cdot \frac{R_b}{R_{sc}} \cdot \alpha_s, \quad (1)$$

где D_{cir} – диаметр сечения железобетонной колонны, мм; R_b и R_{sc} – расчетное сопротивление бетона и соответственно арматуры на сжатие, МПа.

Показатель насыщения бетона продольной арматурой α_s железобетонной колонны круглого сечения вычисляется по эмпирическому уравнению

$$\alpha_s = \left(\frac{8,8 \cdot \alpha_m}{7,35 - 1 / (2 - \alpha_n)} \right)^{2,22} \cdot \frac{1}{\delta_a^{0,28}}, \quad (2)$$

где δ_a – показатель глубины заложения продольной арматуры, определяемый выражением

$$\delta_a = a / D_{cir} \leq 0,15, \quad (3)$$

где a – глубина заложения продольной арматуры, мм.

Показатель величины изгибающего момента с учетом прогиба железобетонной колонны α_m рассчитывается по формуле

$$\alpha_m = \eta_n \cdot \alpha_{m,0'} \quad (4)$$

где η_n – коэффициент увеличения эксцентриситета продольной силы с учетом прогиба железобетонной колонны, определяемый выражением

$$\eta_n = 1 + \alpha_{m,0'} \quad (5)$$

где $\alpha_{m,0}$ – показатель величины изгибающего момента без учета прогиба железобетонной колонны, вычисляемый по формуле

$$\alpha_{m,0} = M / (0,5 \cdot D_{cir} \cdot R_b \cdot A), \quad (6)$$

где M – изгибающий момент, кН·м; A – площадь бетона железобетонной колонны круглого сечения, мм².

Показатель величины продольной силы α_n определяется выражением

$$\alpha_n = N / (R_b \cdot A), \quad (7)$$

где N – продольная сила, кН.

В качестве продольной арматуры для колонн круглого сечения устанавливают горячекатаную арматуру диаметром 6 – 40 мм классов не выше А400 (СП 63.13330.2012).

В качестве бетона железобетонной колонны круглого сечения устанавливают или тяжелый, или напрягающий, или мелкозернистый, или легкий конструктивный бетон.

Использование предложенной формулы (1) упрощает учет влияния прогиба колонны и расчетного изгибающего момента от внешней нагрузки на величину площади арматуры железобетонной колонны круглого сечения, снижает трудозатраты на выполнение расчетов.

Рассмотрим применение вышеизложенных формул на практическом примере № 31 из Пособия к СП 52-101-2003: железобетонная колонна круглого сечения диаметром $D_{cir} = 400$ мм; $r = 200$ мм; глубина заложения арматуры $a = 35$ мм; бетон класса В25 ($R_b = 14,5$ МПа); площадь бетона

$$A = \pi \cdot D_{cir}^2 / 4 = 3,14 \cdot 400^2 / 4 = 125600 \text{ мм}^2;$$

арматура класса А400 ($R_{sc} = 350$ МПа); продольные силы и изгибающие моменты: $N_1 = 250$ кН; от всех нагрузок $N = 350$ кН, $M = 80$ кН·м; начальный эксцентриситет продольной силы $e_0 = M / N = 80 / 350 = 0,23$ м, что больше $D_{cir} / 30 = 0,4 / 30 = 0,013$ м, расчетная длина (высота) железобетонной колонны $l_0 = 4,0$ м; $\eta_n = 1,0$.

Необходимо определить требуемую площадь продольной арматуры железобетонной колонны круглого сечения.

Выполним подробный расчет со ссылками на используемые формулы.

Показатель изгибающего момента $\alpha_{m,0}$ без учета прогиба железобетонной колонны рассчитаем по формуле (6):

$$\alpha_{m,0} = M / (0,5 \cdot D_{cir} \cdot R_b \cdot A) = 80 \cdot 10^6 / (0,5 \cdot 400 \cdot 14,5 \cdot 125600) = 0,22.$$

Коэффициент увеличения эксцентриситета продольной силы с учетом прогиба железобетонной колонны η_n вычислим по формуле (5):

$$\eta_n = 1 + \alpha_{m,0} = 1 + 0,22 = 1,22.$$

Показатель изгибающего момента с учетом прогиба железобетонной колонны α_m вычислим по формуле (4):

$$\alpha_m = \eta_n \cdot \alpha_{m,0} = 1,22 \cdot 0,22 = 0,268.$$

Показатель величины продольной силы α_n определим по формуле (7):

$$\alpha_n = N / (R_b \cdot A) = 350 \cdot 10^3 / (14,5 \cdot 125600) = 0,192.$$

Показатель глубины заложения продольной арматуры δ_a рассчитаем по формуле (3):

$$\delta_a = a / D_{cir} = 35 / 400 = 0,0875 < 0,15.$$

Показатель насыщения бетона продольной арматурой α_s вычислим по эмпирическому уравнению (2):

$$\alpha_s = \left(\frac{8,8 \cdot \alpha_m}{7,35 - 1 / (2 - \alpha_n)} \right)^{2,22} \cdot \frac{1}{\delta_a^{0,28}} = \left(\frac{0,268}{7,35 - 1 / (2 - 0,192)} \right)^{2,22} \cdot \frac{1}{0,0875^{0,28}} = 0,2.$$

Требуемую площадь продольной арматуры железобетонной колонны круглого сечения $A_{s,tot,расч}$ вычислим, используя уравнение (1):

$$A_{s,tot,расч} = \frac{\pi \cdot D_{cir}^2}{4} \cdot \frac{R_b}{R_{sc}} \cdot \alpha_s = \frac{3,14 \cdot 400^2}{4} \cdot \frac{14,5}{350} \cdot 0,2 = 1041 \text{ мм}^2.$$

По найденной величине требуемой площади сечения арматуры железобетонной колонны круглого сечения примем 7Ø14 А400 ($A_{s,\phi} = 1078$ мм²) или 8Ø14 А400 ($A_{s,\phi} = 1232$ мм²).

При расчете площади сечения арматуры по данным приведенного выше примера, используя программу [6], получим значение 878 мм², что составляет примерно 84 % от найденного выше значения $A_{s,tot,расч}$. Таким образом, различие составляет около 16 %, но необходимо учитывать, что в программе для ЭВМ [6] не заложен автоматический учет влияния прогиба.

Вывод. Получено математическое выражение, позволяющее упростить учет влияния прогиба колонны и параметров качества арматуры и бетона на величину требуемой площади продольной арматуры железобетонной колонны круглого сечения, снизить трудозатраты на проектирование железобетонных колонн, повысить точность и экспрессивность расчета.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2018618969. Российская Федерация. Определение площади сечения продольной арматуры вне-

центренно сжатой железобетонной колонны круглого сечения / С.С. Мордовский, Р.И. Давликамов; правообладатель Самарск. гос. технич. ун-т. – № 2018616009; заявл. 09.06.2018, зарегистр. 24.07.2018; опублик. 24.07.2018. Бюл. № 3. 1 с.

2. Карпенко Н.И., Соколов Б.С., Радаикин О.В. Анализ и совершенствование криволинейных диаграмм деформирования бетона для расчета железобетонных конструкций по деформационной модели // Промышленное и гражданское строительство. 2013. №1. С. 25-27.

3. Мурашкин Г.В., Мордовский С.С. Применение диаграмм деформирования для расчета несущей способности внецентренно сжатых железобетонных элементов // Жилищное строительство. 2013. №3. С. 38-40.

4. Мордовский С.С. Совершенствование расчета прочности внецентренно сжатых железобетонных элементов: дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2013. 214 с.

5. Тошин Д.С., Анисимова М.П. Поиск оптимального способа реализации итерационного приближения при расчете по деформационной модели // Научное обозрение. 2016. №17. С. 25-29.

6. Свидетельство о госрегистрации программы для ЭВМ 2018612823. Российская Федерация. Графики несущей способности внецентренно сжатых элементов круглого сечения / С.С. Мордовский, Р.И. Давликамов; правообладатель Самарск. гос. технич. ун-т. – № 2018610047; заявл. 09.01.2018; зарегистр. 01.03.2018; опублик. 01.03.2018, Бюл. № 3. 1 с.

Об авторах:

ИЛЬИН Николай Алексеевич

кандидат технических наук, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (846)339-14-71

ILYIN Nikolay A.

PhD in Engineering Science, Professor of the Water Supply and Wastewater Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. (846)339-14-71

МОРДОВСКИЙ Сергей Сергеевич

кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (846)339-56-35

MORDOVSKY Sergey S.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Building Structures Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. (846)339-56-35

ВАСИЛЬЕВА Екатерина Евгеньевна

магистрант Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194

VASILYEVA Ekaterina Ye.

Master's Degree Student Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194

ТАЛАНОВА Валерия Николаевна

магистрант Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194

TALANOVA Valeriya N.

Master's Degree Student Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194

Для цитирования: Ильин Н.А., Мордовский С.С., Васильева Е.Е., Таланова В.Н. Определение площади арматуры железобетонной колонны круглого сечения // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №3. С. 8-11. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.2. For citation: Ilyin N.A., Mordovsky S.S., Vasilyeva E.Ye., Talanova V.N. Determination of the Area of Reinforcement of Reinforced Concrete Columns of Circular Cross Section // Urban Construction and Architecture. 2018. V.8, №3. Pp. 8-11. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.2.