

Об особенностях методик расчёта внецентренно сжатых железобетонных элементов

*И.И. Евтушенко, Р.Н. Вахидов, А.Л. Барамия, С.А. Пустовалов
В.В. Зотов, С.Л. Нор-Аревян, В.Э. Нуриев*

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: Рассматриваются внецентренно сжатые стержневые элементы железобетонных конструкций. Решаются задачи разработки методик расчета прочности нормальных сечений при внецентренном сжатии железобетонных элементов; выполнение расчета на определение несущей способности железобетонных конструкций на примере колонн различной гибкости по предельным усилиям. Аналитическим путем выполнен расчет, позволяющий определить прочность железобетонных конструкций.

Ключевые слова: внецентренно сжатые стержни, железобетонные конструкции, прочность, нормальные сечения, колонны различной гибкости, несущая способность, предельные усилия.

Сравнение и анализ государственных норм строительного проектирования промышленно развитых стран и изучение перспективных методов расчета строительных конструкций является актуальной задачей в области подготовки инженерных кадров.

Сопоставление методик и результатов расчета железобетонных конструкций согласно нормам Российской Федерации имеет большое значение для оценки достоверности получаемых результатов и принятия обоснованных проектных решений.

Рассмотрим задачи на разработку методик расчета прочности нормальных сечений при условии внецентренно сжатом железобетонном элементе, а также выполним расчет на определение прочности железобетонных конструкций на примере колонн различной гибкости. Объект исследования представляет собой внецентренно сжатые стержневые элементы железобетонных конструкций. Предмет исследования заключается в методах расчета на прочность внецентренно сжатых элементов конструкций.

В расчетном сечении внецентренно сжатой колонны действуют продольная сила N и изгибающий момент M . Такие колонны широко применяют в каркасах производственных зданий (с наличием крановых нагрузок, либо с их отсутствием) [1,2].

Согласно СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции», расчет несущей способности может проводиться методом предельных усилий (рис.1) и диаграммным методом (рис.2)

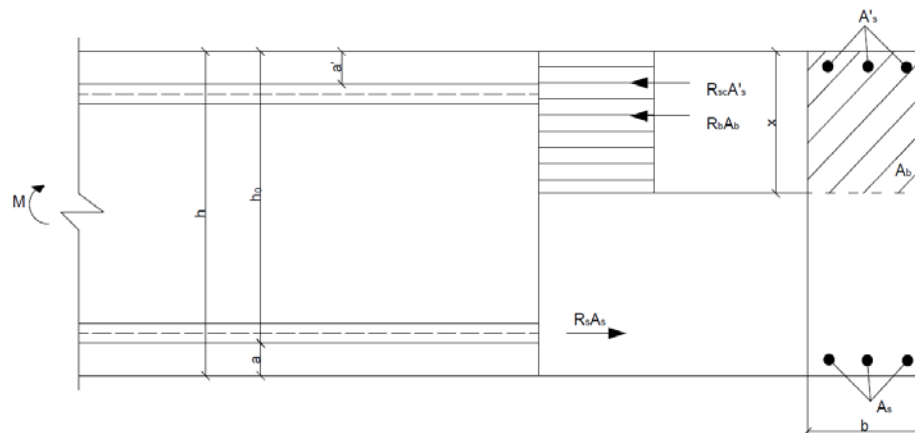


Рис.1. Расчет несущей способности методом предельных усилий

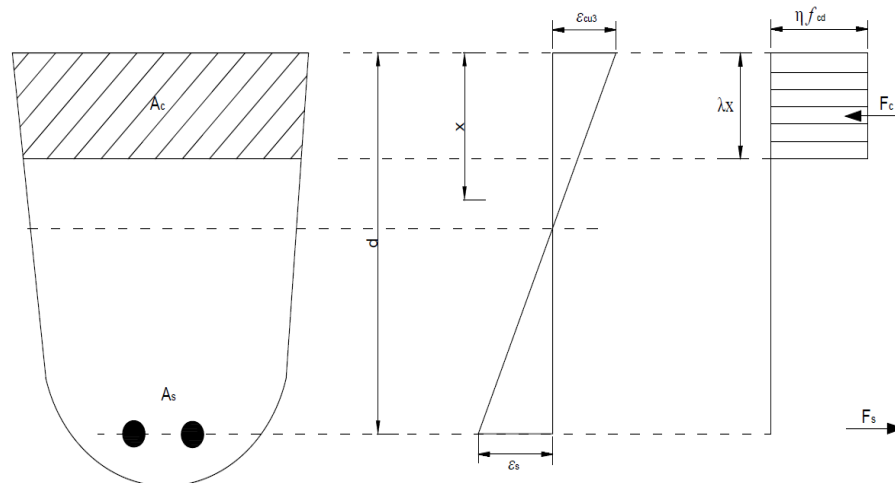


Рис.2. Расчет несущей способности диаграммным методом

Суть метода предельных усилий заключается в определении несущей способности как уравновешенной суммы всех предельных усилий в бетоне и арматуре сечения [3].

Руководствуясь пособием к СП 63.13330.2012 для проектирования бетонных и железобетонных конструкций бетонов без предварительного напряжения, нужно учесть, что отличие в определении предельных усилий в бетоне основано на упрощении формы зоны сжатия и данных полученных опытным путем.

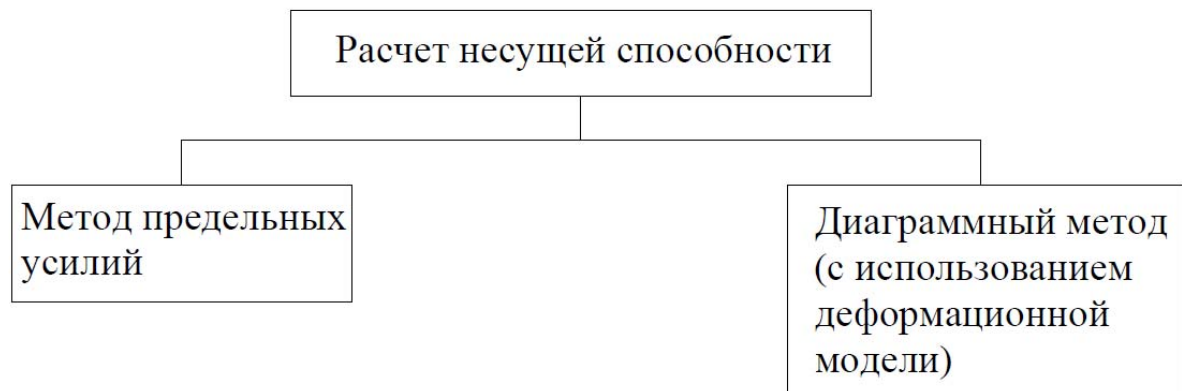


Рис.3. Классификация расчета несущей способности железобетонных элементов

Основные различия между двумя методами, указанные на (рис.3), исходя из [3], являются:

- форма эквивалентной эпюры сжатой зоны;
- учет допустимых усилий в арматуре;
- классификация на виды внецентренного сжатия;
- иные эмпирические соотношения.

Расчет на прочность нормальных сечений внецентренно сжатых железобетонных конструкций по методу предельных усилий [3, 4] выполняют в зависимости от соотношения между значениями высоты сжатой зоны бетона ξ , рассчитываемый из соответствующего условия равновесия, и значения граничной высоты сжатой зоны $\xi_{R(1)}$, при котором предельное состояние конструкции наступает сразу же с достижением в растянутой арматуре напряжения, равного сопротивлению R .

$$\xi_R = \frac{x_R}{h_0} = \frac{0,8}{1 + \frac{\varepsilon_{s,el}}{\varepsilon_{b,ult}}} \quad (1)$$

$\varepsilon_{s,el}$ – относительная деформация стальной арматуры, при напряжениях, R_s (2).

$$\varepsilon_{s,el} = \frac{R_s}{E_s} \quad (2)$$

$\varepsilon_{b,ult}$ – относительная деформация конструкции, при напряжениях, равных R_b .

Для бетонов В70-В100 (высокопрочные) в числителе (1) вместо 0,8 принимается 0,7.

Далее получаем условие равновесия, которое имеет вид (3), исходя из [3]:

$$N_e \leq R_b(h_0 - 0,5x) + R_{sc}A_s(h_0 - a) \quad (3)$$

Высоту сжатой зоны x определяют из предположения наступления предельного состояния и достижения предельных усилий в сечении.

Рассмотрим две вариации:

а) при $\xi \leq \frac{x}{h_0} \leq \xi_R$ высоту сжатой зоны определяют по формуле (4):

$$x = \frac{N + R_s A_s - R_{sc} A_s}{R_b b} \quad (4)$$

б) при $\xi = \frac{x}{h_0} > \xi_R$ по формуле (5):

$$X = \frac{N + R_s A_s \frac{1 + \xi_R}{1 - \xi_R} - R_{sc} A_s}{R_b E + \frac{2 R_s A_s}{h_0 (1 - \xi_R)}} \quad (5)$$

Существующая зависимость между напряжениями в зоне растяжения арматуры и высоты зоны сжатия наглядно показана в формуле (6), которая выглядит следующим образом:

$$\sigma_s = \left(2 \frac{1 - \xi}{1 - \xi_R} \right) R_s \quad (6)$$

Нужно заметить, что упрощение в формуле (6) верно для бетона класса В30 и ниже, а также для арматуры А240-А400.

Актуален также вопрос (деформации бетона в условиях бокового обжатия), поднимаемый в [5,6], поскольку для перехода от приведенных единиц к абсолютным или относительным (в случае возможных деформаций), необходимо ввести понятие начального модуля упругости в условиях бокового обжатия конструкции (7):

$$E_{b,3red} = \frac{0.6 R_{b,3}}{0.24 \varepsilon_{max}} \quad (7)$$

Если для одноосного сжатия величину начального модуля упругости можно было упрощенно назначить как (8):

$$E_{bred} = f(R_b) \quad (8)$$

то, ссылаясь на [7, 8] для трехосного сжатия количество переменных значительно возрастает (9):

$$E_{b,3red} = f(R_b, r_b, R_s, t), \quad (9)$$

где t – толщина облоймы, r_b – радиус бетонного ядра.

В [1, 2] существуют ограничения и для других классов бетона и арматуры, однако расчет проводится по утонченной методике, но с учетом полноты эпюры сжатой зоны.

Пособие к СП 63.13330.2012 по проектированию бетонных и железобетонных конструкций бетонов без предварительного напряжения предлагает упрощенный вариант характеристики сжатой зоны бетона (табл.1):

f_{ck}	λ	η
<50 МПа	0,8	0,1
> 50 МПа	$0.8 - \left(\frac{f_{ck}-50}{400}\right)$	$0.1 - \left(\frac{f_{ck}-50}{200}\right)$

Таблица 1. Характеристики сжатой зоны бетона.

Расчет несущей способности внецентренно сжатых колонн различной гибкости, согласно пособию к СП 52-101-2003 по проектированию бетонных и железобетонных изделий из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры, осуществляют по методике предельных усилий, поскольку данная вариация наиболее рациональна и актуальна по нормам ГОСТ 23616-79. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Контроль точности и требованиям СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции».

При расчете на прочность внецентренно сжатого бетонного элемента на действие от сжимающей силы N , необходимо учитывать вероятностный эксцентриситет e_a , не менее:

- $\frac{1}{300}$ длины элемента или расстояния между его сечениями,

закрепленными от смещения;

- $\frac{1}{30}$ от H сечения;

- 10 мм.

Для конструкций являющихся статически неопределимыми значение эксцентриситета силы N относительно центра тяжести сечения e_0 равняется значению того эксцентриситета, значение которого было получено путем расчета, но не менее e_a .

Эксцентриситет элементов статически определимых конструкций e_0 принято определять равным суммарным эксцентриситетам (Σe) из статического расчета конструктивного элемента и случайного.

В колоннах различной гибкости $\frac{l_0}{i} > 14$ необходимо учитывать влияние прогибов z , путем произведения значений эксцентриситета на соответствующий коэффициент (10), определяемый согласно п.7.1.11 СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции»:

$$z = e_0 \cdot \eta \quad (10)$$

Внецентренно сжатые конструктивные элементы, в которых по условиям эксплуатации появление трещин не допускается, независимо от расчета из условия (11), должны быть проверены с учетом сопротивления бетона [9,10] растянутой зоны из условия (12):

$$N \leq R_b \cdot A_b, \quad (11)$$

где N – действующая продольная сила;

A_b – площадь бетона в сжатой зоне, определяемая из условия, что ее центр тяжести совпадает с точкой приложения силы N (с учетом прогиба).

$$N \leq \frac{R_{bt} \cdot A}{\frac{1}{I} \cdot s_0 \cdot \eta \cdot y_t - 1} \quad (12)$$

Для элементов прямоугольного сечения, условие (12) имеет вид:

$$N \leq \frac{R_{bt} \cdot b \cdot h}{\frac{s_0 \cdot \eta}{h} - 1} \quad (13)$$

В формулах (12), (13):

A – площадь бетонного элемента поперечного сечения;

I – момент инерции сечения относительно его центра тяжести;

y_t – расстояние от центра тяжести сечения элемента до наиболее растянутого волокна;

η – коэффициент, определяемый согласно п.7.1.11 СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции».

$$\frac{1}{r} = \frac{N \cdot s_0}{\varphi \cdot E_b \cdot I_{red}} \quad (14)$$

Предварительные расчеты колонн с трещинами в растянутой зоне [6] показали, что использование откорректированной формулы кривизны (14)

для элементов с относительным эксцентриситетом $\frac{e_0}{h} = 0,2$ приводит к продуктивному результату (15):

$$\frac{1}{r} = \frac{M_S}{h_0 e} \left(\frac{\psi_S}{E_S A_{SP} + E_S A_S} + \frac{\psi_b \cdot \psi_a}{(\varphi_f + \xi) b h_0 E_b \nu} \right) - \frac{N_{tot}}{h_0} \frac{\psi_S}{E_S A_{SP} + E_S A_S} \quad (15)$$

Результатом исследования явилось конструирование методики расчета прочности нормальных сечений внецентренно сжатых железобетонных элементов, а также выполнение расчета на определение несущей способности на примере колонн различной гибкости по предельным усилиям.

Литература

1. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции. Общий курс. Москва: Стройиздат, 1991. 767 с.
2. Голышев А.Б., Бачинский В.Я., Полищук В.П., Харченко А.В., Руденко И.В. Проектирование железобетонных конструкций. Справочное пособие. Киев: Будивельник, 1990. 247 с.
3. Боровских А.В. Расчеты железобетонных конструкций по предельным состояниям и предельному равновесию. Москва: Ассоциации строительных вузов, 2004. 320 с.
4. Бондаренко В.М., Римшин В.И. Примеры расчета железобетонных и каменных конструкций. Москва: Высшая школа, 2009. 589 с.
5. Резван И.В., Маилян Д.Р., Резван А.В. Построение диаграммы «напряжения-деформации» бетона в условиях пассивного бокового обжатия // Инженерный вестник Дона, 2012, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2012/1127.
6. Мкртчян А.М., Маилян Д.Р. Особенности расчета железобетонных колонн из высокопрочного бетона по деформированной схеме // Инженерный вестник Дона, 2013, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2186.
7. Chen W.F., Han D.J. Plasticity for Structural Engineers. New York: Springer-Verlag, 1988. 606p.
8. Bathe K.J., Wilson E.L. Numerical Methods in Finite Element Analysis. USA: New Jersey, 1977. 282p.
9. Hughes A.F., Iles D.C., Malik A.S. Design of Steel Beams in Torsion. London: SCI Assesment, 2011. 148 p.
10. Salmon C., Johnson J. Steel Structures. London: Harper Collins College Publishers, 1996. 1044 p.

References

1. Bajkov V.N., Sigalov Je.E. Zhelezobetonnye konstrukcii. Obshhiy kurs. [Reinforced concrete structures. General course.] Moscow: Strojizdat, 1991. 767 p.
2. Golyshev A.B., Bachinskij V.Ja., Polishhuk V.P., Harchenko A.V., Rudenko I.V. Proektirovanie zhelezobetonnyh konstrukcij. Spravochnoe posobie. [Design of reinforced concrete structures. Reference manual.] Kyiv: Budivel'nik, 1990. 247 p.
3. Borovskih A.V. Raschety zhelezobetonnyh konstrukcij po predel'nyh sostojanijam i predel'nomu ravnovesiju. [Calculations of reinforced concrete structures for limiting states and limiting equilibrium.] Moscow: Associacii stroitel'nyh vuzov, 2004. 320p.
4. Bondarenko V.M., Rimshin V.I. Primery rascheta zhelezobetonnyh i kamennyh konstrukcij. [Examples of calculating reinforced concrete and stone structures.] Moscow: Vysshajashkola, 2009. 589p.
5. Rezvan I.V., Mailjan D.R., Rezvan A.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1127.
6. Mkrтчjan A.M., Mailjan D.R. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2186.
7. Chen W.F., Han D.J. Plasticity for Structural Engineers. New York: Springer-Verlag, 1988. 606 p.
8. Bathe K.J., Wilson E.L. Numerical Methods in Finite Element Analysis. USA: New Jersey, 1977. 282 p.
9. Hughes A.F., Iles D.C., Malik A.S. Design of Steel Beams in Torsion. London: SCI Assesment, 2011. 148 p.
10. Salmon C., Johnson J. Steel Structures. London: Harper Collins College Publishers, 1996. 1044 p.