Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

В. В. Теряник, О проблеме устойчивости внецентренно сжатых бетонных и железобетонных элементов средней и большой гибкости (до $\lambda = l_0/i \leq 120$), *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2003, выпуск 19, 167–169

DOI: <https://doi.org/10.14498/vsgtu162>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 52.205.19.152

26 апреля 2023 г., 17:34:58

1. Глуценков В. С., Сараев Л. А., Хохрякова Ю. В. Малые упругопластические деформации композиционного материала, хаотически армированного эллипсоидальными включениями // Вестн. СамГУ. 2001. № 2(20). С. 121–125.

Поступила 15.02.2003 г.

УДК 624.012: 69.059.3

В.В. Теряник

О ПРОБЛЕМЕ УСТОЙЧИВОСТИ ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТЫХ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СРЕДНЕЙ И БОЛЬШОЙ ГИБКОСТИ (ДО $\lambda = l_0/i \leq 120$)

Проанализированы и обобщены результаты экспериментальных исследований по определению несущей способности внецентренно сжатых колонн средней и большой гибкости. Выявлены недостатки существующей методики расчета. Усовершенствована методика проверки несущей способности внецентренно сжатых колонн из условия прочности и устойчивости с учетом реальных свойств материала.

Известно, что для нормальной эксплуатации конструкций должно соблюдаться общее требование строительных норм [1]

$$gF \leq \Phi \cdot K, \quad (1)$$

где F - фактическая нагрузка на конструкцию в момент обследования, когда выявлены дефекты и повреждения; Φ - несущая способность конструкции без учета повреждений и дефектов, определяемая расчетом из условия прочности и устойчивости по фактическим значениям площадей сечений A_0 , A_s и прочности бетона и стали R_b , R_s ; K - коэффициент снижения несущей способности конструкции при наличии дефектов и повреждений, значение которого может быть установлено на основе результатов обследований; g - коэффициент надежности по материалу.

При практических расчетах условие (1) удобно представить в виде

$$F \leq (1/g)\Phi K. \quad (2)$$

Чтобы правильно решить вопрос, какие элементы конструкции надо усиливать и по какой причине, условие (2) необходимо проверять для каждого элемента конструкции отдельно. Для внецентренно сжатых элементов:

а) из условия прочности –

$$M_{факт} \leq (g_e \cdot g_s) M_{np} \text{ или } N_{факт} \leq (g_e \cdot g_s) N_{np}; \quad (3)$$

б) из условия устойчивости –

$$N_{факт} \leq (g_e \cdot g_s) N_{кр}, \quad (4)$$

где $g_e \cdot g_s$ - коэффициенты надежности по бетону и арматуре.

Как показано в работе [2], для внецентренно сжатых элементов средней и большой гибкости несущая способность при потере устойчивости всегда будет меньше, чем из условия прочности N_{np} . Однако методика определения $N_{кр}$ из условия устойчивости для внецентренно сжатых элементов (колонн) при малых и средних эксцентриситетах e_0 с учетом гибкости I разработана пока недостаточно. По имеющейся методике расчета бетонных и железобетонных колонн в СНиПе [1] проверка устойчивости выполняется в косвенном виде и весьма приближенно. При этом проектировщики не имеют возможности строгой оценки несущей способности таких колонн из условия устойчивости. А для решения вопроса о необходимости усиления сжатых колонн следует более точно проверять несущую способность их из условия возможной потери устойчивости, особенно это относится к колоннам средней и большой гибкости (3).

Для проверки несущей способности гибких сжатых элементов при $I \geq 14$ рекомендуется использовать условие [1]

$$N_{расч} \cdot e_{расч} \leq [M_{np} = R_b A_{0c} \cdot Z_0 + R_{sc} A'_s \cdot Z_s], \quad (5)$$

где для прямоугольного сечения с симметричной арматурой A_s и A'_s

$$e_{расч} = e_0 \cdot h + \left(\frac{h}{2} - a\right); \quad e_0 = \frac{M}{N} + e_a. \quad (6)$$

Здесь h - коэффициент, учитывающий влияние поперечного прогиба колонны на увеличение расчетного момента от N , определяемый по приближенной формуле

$$h = 1 / (1 - N_{расч} / N_{кр}), \quad (7)$$

$N_{кр}$ - условная критическая сила для сжатой колонны, определяемая по обобщенной формуле, учитывающей неупругие свойства сжатого бетона и характер действия нагрузки, учитываемого коэффициентом j_e :

$$N_{кр} = \frac{6,4E_b}{l_0^2} \left[\frac{J_b}{j_l} \left(\frac{0,11}{0,1 + d_e / j_p} + 0,1 \right) + aI_s \right], \quad (8)$$

$$a = E_s / E_b; d_e = e_0 / h \geq (0,5 - 0,01l_0 / h - 0,01R_b). \quad (9)$$

Недостатком методики [1] является приближенная формула (7), которая при больших значениях $N_{расч}$ дает неоправданно большое значение h . Теоретически при $N_{расч} \rightarrow N_{кр}$ $h \rightarrow \infty$.

Чтобы не было большого перерасхода арматуры в правой части условия (4), требования [1] ограничивают максимальное значение этого коэффициента величиной $h_{max} = 2,5$, чему соответствует отношение $N_{расч} / N_{кр} = 0,6$.

В последние годы при строительстве жилых, общественных и промышленных зданий начали широко применяться бетоны повышенной и высокой прочности с допустимыми напряжениями до 800 МПа. Внедрение высокопрочных бетонов в изготовлении несущих каркасов повлекло за собой применение конструкций сжатых колонн меньшего сечения по сравнению с сечениями из обычного бетона. При этом гибкости их возрастают, поэтому возникает опасность потери устойчивости первоначальной деформации изгиба колонн в плоскости эксцентриситета или из плоскости. Таким образом, актуальность разработок по совершенствованию методики проверки устойчивости таких колонн возрастает. При этом важными факторами в решении задачи устойчивости является более точный учет неупругих свойств материала (бетона), геометрических характеристик сечения и расчетных эксцентриситетов $e_{расч}$, а также расчетных длин колонн l_0 , входящих в состав каркаса.

За последние пять лет вопрос совершенствования нормативных рекомендаций поднимался многократно проектировщиками и исследователями. Среди выполненных исследований особо надо отметить натурные эксперименты, выполненные Д.О. Астафьевым [2] и В.С.Бабиным [3].

Исследования Д.О. Астафьева производились на рамном каркасе с гибкостью колонн $I = 80$. Бабин В.С. для экспериментов использовал одиночные колонны гибкостью 95, варьируя эксцентриситеты приложения продольной силы $e_2 / e_1 = \{0; 0,5; 1\}$ при $e_1 = 10$ см. Общим выводом экспериментальных исследований является доказательство об исчерпании несущей способности колонн вследствие потери устойчивости первоначальной изогнутой оси колонн при достижении критического значения прогиба. При этом найденные значения $N_{кр}$ близко совпадали с уточненными теоретическими значениями $N_{кр}$, полученными авторами [4]. В работе В.С. Бабина [3] уточняется формула (7) для определения h , но по структуре она остается такой же. В работе Д.О. Астафьева [2] уточняется формула для определения $N_{кр}$ с использованием коэффициента продольного изгиба j_e , зависящего от гибкости λ , относительного эксцентриситета $m = e_0 A / W$ и класса бетона. Для прямоугольного сечения $W = bh^2 / 6$, тогда

$$m = e_0(bh) \cdot 6 / bh^2 = 6e_0 / h. \quad (10)$$

Экспериментальные значения $N_{кр}$, полученные В.С. Бабиным, близко совпадают с теоретическими $N_{кр}$, полученными автором из общего условия потери устойчивости (2 рода) внецен-трально сжатых колонн в виде

$$dN / df = 0 \quad (11)$$

при кубической и квадратной зависимостях:

$$\sigma = \alpha_1 \varepsilon - \alpha_3 \varepsilon^3 \text{ и } \sigma = \alpha_1 \varepsilon - \alpha_2 \varepsilon^2. \quad (12)$$

Здесь $\alpha_1 = E_b$, $\alpha_3 = E_b / 3\varepsilon_{nn}^2$, $\alpha_2 = E_b / 2\varepsilon_{nn} e_{nn}$ - относительная деформация бетона при напряжении, равном пределу прочности $S_{nn} (R_b)$.

Использованы допущения: учитывается работа только восходящих ветвей диаграммы $S - \epsilon$; деформация стойки в предельном состоянии по устойчивости происходит по полуволне синусоиды до появления трещин; при выводе основных уравнений используется закон плоских сечений; работа сжатых элементов происходит при малых относительных деформациях ϵ , соответствующих $S = S_{ep}$; при выявлении физико-механических характеристик используются диаграммы одноосного напряженного состояния; рассматривается симметричное сечение колонны (в виде прямоугольника или двутавра с одинаковыми полками).

С учетом принятых допущений для внецентренно сжатой стойки получены уравнения равновесия

$$N = \int_A S_z dA; \quad M = \frac{E}{r} \int_A z dA - \frac{a_3}{r^3} \int_A z^3 dA.$$

В результате решения приведенных уравнений получена простая формула для определения $N_{кр}$, в которой впервые поперечные прогибы внецентренно сжатой стойки учтены более точно по сравнению с [1]:

$$N_{кр} = N_{кр}^y \cdot k_n, \quad (13)$$

где $N_{кр}^y = \pi^2 E_b J_b / \ell^2$ - в упругой стадии работы бетона. Здесь k_n - коэффициент, учитывающий деформацию внецентренно сжатой стойки с учетом нелинейности материала, значение которого всегда меньше 1 (коэффициент нелинейности); f - поперечный прогиб, определяемый из решения кубического или квадратного уравнения, полученного из условия (12) с учетом выражения N по (13).

Доказано, что с увеличением эксцентриситета продольной силы значение коэффициента нелинейности уменьшается. Формула для $N_{кр}$ может быть использована для построения кривых равновесных состояний $N - f$. Показана возможность применения формулы (13) для определения $N_{кр}$ для железобетонных колонн. Произведена оценка несущей способности сжатых элементов различной гибкости по условиям прочности и устойчивости, в том числе для железобетонных колонн из серии, испытанных Бабиным С.В. и Астафьевым Д.О. при гибкостях $\lambda = 93$ и 78. Результаты сравнения экспериментальных данных с результатами аналитического расчета, полученными по предлагаемой методике, показали незначительные расхождения, что допускает ее применение при решении проверочных и проектировочных задач.

Таким образом, совершенствование методики проверки несущей способности внецентренно сжатых колонн средней и большой гибкости (до $\lambda \leq 120$) имеет не только теоретическое, но и практическое значение, чтобы правильно решить вопрос об усилении колонн, если окажется, что

$$N_{расч} > N_{кр}.$$

Такое условие может возникнуть при реконструкции существующих зданий со сжатыми колоннами при увеличении расчетных нагрузок от более тяжелого технологического оборудования или при ошибках проектировщика, допущенных в определении $N_{кр}$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СНиП 2.03.01-84* Бетонные и железобетонные конструкции. М. Госстрой России, 1999. 75 с.
2. Астафьев Д.О. Расчет реконструируемых железобетонных конструкций. СПб.: СПб гос. архит.-строит. уни-т, 1995. 158 с.
3. Бабич В.С. Исследование и расчет сжатых элементов с переменными эксцентриситетами по длине // Бетон и железобетон. 1992. №10. С.12.
4. Раевский А.Н., Теряник В.В., Мальков А.А. Совершенствование методики определения несущей способности внецентренно сжатых колонн из условия устойчивости и прочности ВНИИЦ. М., 2001. 15с. Деп. в ВНИИЦ. №72200100023.

Поступила 7.05.2003 г.