

На графиках (рис. 2,3,4) нанесены точки по опытным данным автора (табл. I) и других исследователей [2]. Значения плеч внутренней пары усилий определены расчетом по предлагаемым формулам. Приведенные опытные данные подтверждают характер изменения плеча внутренней пары усилий для трех случаев работы элемента кольцевого сечения.

Л и т е р а т у р а

1. КУДИС А.П. Железобетонные конструкции кольцевого сечения, Вильнюс, "Минтис", 1975.
2. КУРНОСОВ А.И., ГОРЯЧЕВ Б.П., ПОПОВ В.В. Стойки опор линий электропередач с арматурой класса А-У. "Бетон и железобетон", № II, 1972.

Т.М.Пецольд, В.Г.Казачек

УДК 624.075.46.23

ВЛИЯНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА НЕСУЩЮЮ СПОСОБНОСТЬ СЖАТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ КРАТКОВРЕМЕННОМ ДЕЙСТВИИ НАГРУЗКИ

Для выявления влияния предварительного напряжения на работу железобетонных колонн были поставлены опыты. Образцы прямоугольного сечения имели следующий диапазон переменных параметров: отношение $\frac{L_0}{h} = 10,0-49,4$; относительный эксцентриситет приложения нагрузки $i = \frac{e_0}{h} = 0-2,0$; суммарный процент армирования $\mu (\%) = 0,447 \div 3,260$; призматическая прочность бетона к моменту испытания $R_{пр} = 400 \div 800$ кгс/см². Относительные величины прочности бетона в момент передачи напряжения и установившегося обжатия соответственно будут $k_{т.0} = \frac{R_{пр.0}}{R_{пр}} = 0,5-1,0$ и $\eta = \frac{\sigma_{0y}}{R_{пр}} = 0 \div 0,41$. Размеры поперечного сечения $b \times h$ от $7,62 \times 5,13$ (см) до $22,0 \times 15,0$ (см). Результаты обработки полученных в исследованиях данных приведены на рис. I.

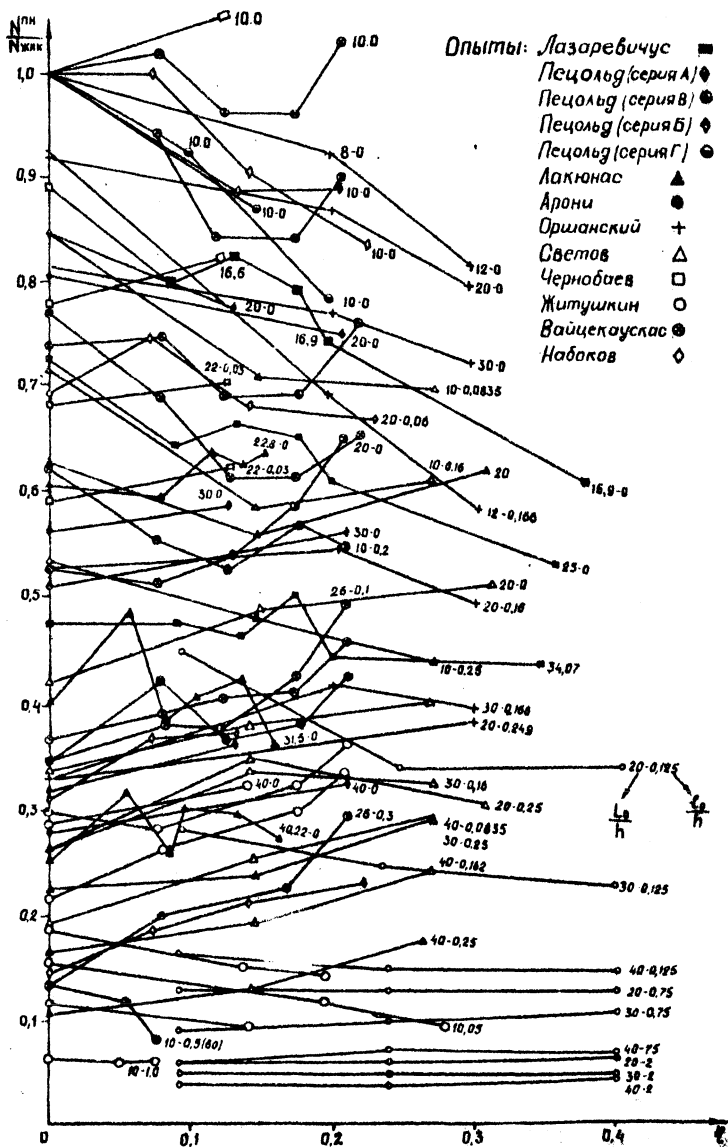


Рис. I. Обобщенный график влияния предварительного напряжения продольной арматуры на несущую способность колонны

Как видно из графика, результаты опытов чрезвычайно разнообразны. Однако и здесь представляется возможным "разделить" все имеющиеся элементы на несколько характерных групп, в которых влияние предварительного напряжения продольной арматуры на несущую способность скатых элементов имеет свои качественные особенности. В качестве разделяющего признака примем значения отношения k_1 .

$$\text{Отношение } k_1 = \frac{l_0}{h} = 10+12$$

Для центрально скатых колонн с процентом армирования μ (%) $\approx 1,5-2,0$ преднапряжение небольшой величины ($\eta \approx 0,05+0,1$) может повысить их несущую способность на $5+7\%$ по сравнению с ненапряженными образцами [4, 7, 10]. Это, вероятно, связано с наличием начальных микродефектов структуры бетона в ненапряженных колоннах, которые частично ликвидирует предварительное обжатие. Обжатие бетона выше величины $\eta \approx 0,1$ снижает несущую способность коротких колонн пропорционально величине обжатия, причем это снижение несколько более значительно для колонн, обжатых в позднем возрасте бетона. С увеличением эксцентricитета и процента армирования отрицательное влияние преднапряжения уменьшается, однако несущая способность ненапряженных колонн в большинстве случаев остается все же выше обычных ненапряженных.

$$\text{Отношение } k_1 = \frac{l_0}{h} = 16 + 25$$

В этой группе колонн начинает проявляться влияние продольного изгиба и их относительная несущая способность с увеличением гибкости снижается, а величина коэффициента продольного изгиба имеет определенный разброс. Характер влияния преднапряжения для элементов, нагруженных центрально и с относительно малыми эксцентricитетами, аналогичен этим процессам в коротких элементах, однако с увеличением эксцентricитета и гибкости несущая способность предварительно напряженных колонн может превысить несущую способность обычных железобетонных. Важным является то, что в зависимости от гибкости и эксцентricитета приложения нагрузки имеется определенная оптимальная величина обжатия, дающая максимальный эффект. При сравнительно больших эксцентricитетах, как правило, этого не наблюдается и увеличе-

ние обжатия дает стабильное, хотя и незначительное, повышение несущей способности элементов [2, 4, 7, 8].

$$\text{Отношение } \lambda_1 = \frac{l_0}{h} = 30 \div 35$$

Особенностью колонн данной группы является то, что в них указанное отношение представляет собой как бы "границу", за которой наступает разрушение вследствие достижения бетоном предельных деформаций на сжатие. На работе колонн сказываются "случайные" эксцентриситеты приложения нагрузки и неоднородность бетона.

Для гибких железобетонных элементов увеличение процента армирования не является эффективным средством повышения их несущей способности, так как при потере устойчивости деформации материалов всегда ниже их предельных значений. Это характерно и для предварительно напряженных гибких колонн. С уменьшением гибкости потеря несущей способности стоек может происходить при деформациях сжатого бетона и растянутой арматуры (в случае достаточно больших эксцентриситетов), близких к предельным. Здесь влияние соотношения μ и σ_0 для данной степени обжатия может сказаться более значительно. Согласно некоторым экспериментальным данным модуль деформаций бетона в армированных образцах по сравнению с бетонными призмами может быть пониженным как и деформативность образцов с преднапряженной арматурой. Суммарное влияние отмеченных факторов на несущую способность элементов данных гибкостей способствует значительному разбросу результатов экспериментов. В пределах $\lambda_1 = 30 \div 35$ при средней величине "случайных" эксцентриситетов влияние положительных и отрицательных факторов, связанных с наличием преднапряжения продольной арматуры в сечении центрально сжатых колонн взаимоисключается и данные гибкости следует считать нейтральными по характеру влияния преднапряжения на их несущую способность. При внецентренном сжатии положительное влияние преднапряжения проявляется более отчетливо, чем в элементах группы с $\lambda_1 = 16 \div 25$. Важно, чтобы в обоих случаях величина деформации бетона сжатой грани сечения с учетом начальных деформаций обжатия не превышала предельной деформативности бетона.

$$\text{Отношение } \lambda_1 = 40 \text{ и выше.}$$

Несущая способность колонн этой группы определяется устой-

чивостью формы изогнутой оси. Некоторое отличие в характере влияния преднапряжения на величину критической силы заключается в том, что практически отсутствует "оптимальное" обжатие, т.е. вплоть до максимальной достигнутой в эксперименте величины $\eta = 0,41$ наблюдается непрерывное увеличение несущей способности напряженных стоек. Изменение прочности бетона непропорционально сказывается на несущей способности колонн высоких гибкостей при любых эксцентриситетах приложения нагрузки. Очевидно, что верхний предел прочности бетона - величина порядка 600 кгс/см². Это позволит при назначении требуемого обжатия бетона обходиться сравнительно небольшим процентом армирования, поскольку влияние соотношения μ и σ_s на несущую способность гибких элементов будет незначительным.

Из вышеизложенного следует, что влияние предварительного напряжения на работу внецентренно сжатых железобетонных элементов определяется совокупностью ряда параметров. Учитывая сложный характер их взаимодействия и разноречивые результаты исследований, сделана попытка применить законы математической статистики в виде многофакторного регрессионного и дисперсионного анализа экспериментов с предварительно напряженными колоннами. На первом этапе обработке были подвергнуты результаты испытания около 200 элементов, имеющих гибкость $\lambda_1 = \frac{l_0}{h} = 20$ и выше [2, 4, 7, 8, 10].

В качестве зависимой переменной принято условное критическое напряжение в момент потери несущей способности стойки $\sigma_{кр} = \frac{N_{пр}}{F_b}$. Подсчет велся регуляризованным методом квадратов с предварительным усреднением по η на ЭВМ "Минск-32" со специальной программой, разработанной А.С.Лазаревым и О.М.Нерославским.

Адекватность модели проверялась дублирующими друг друга критериями, основанными на статистике Фишера. Незначимые коэффициенты автоматически исключались по названным критериям в процессе счета на уровне зависимости 0,95. В качестве предварительного результата статистической обработки опытных данных получена регрессионная модель:

$$\frac{N_{пр}}{F_b} = 401,67 - 3,55 \lambda - 98,83 i - 713,51 \eta - 26,55 \eta \times \mu +$$

$$+ 0,34 R_{\text{пр}} + 17,55\mu + 229,53\sqrt{\eta} + 2,66\eta \times \lambda + 63,56\eta \times i$$

где: $\lambda = \frac{l_0}{z_{\text{ин}}}$ - гибкость; $z_{\text{ин}}$ - радиус инерции бетонного сечения; $i = \frac{l_0}{z_{\text{ин}}} \frac{e}{e_0}$ - относительный эксцентриситет; $\eta = \frac{65y}{R_{\text{пр}}}$ - относительная величина установившегося обжатия; $R_{\text{пр}}$ (кгс/см²) - призмная прочность бетона в момент испытания колонн; μ (%) - суммарный процент армирования; F_r (см²) - площадь бетонного сечения; $N_{\text{пр}}$ (кгс) - несущая способность колонны.

Наиболее существенными оказались факторы λ ; i ; $R_{\text{пр}}$; $\lambda \times i$. Судя по коэффициентам корреляции и значимости коэффициентов регрессии, модель можно несколько упростить путем исключения членов, содержащих μ и $\lambda \cdot \eta$. Как видно, регрессионное уравнение является явно нелинейным, что подтверждает вывод о сложном характере влияния анализируемых факторов. Детальный анализ полученной зависимости позволяет уточнить вид эмпирического уравнения регрессии, значимость независимых переменных и их сочетаний.

Следует отметить общие требования, которые необходимо учитывать при решении вопроса о выборе величины обжатия бетона преднапряженной арматуры во внецентренно сжатых элементах:

1. Величина относительного обжатия η не должна превышать предела длительного микротрещинообразования бетона, т.е. $[\eta] \leq 0,5$.

2. Для гибких элементов с увеличением степени обжатия возрастает величина и отрицательное влияние начальных искривлений вследствие неточности натяжения и расположения арматуры.

3. Величина обжатия должна максимально способствовать повышению трещиностойкости данного образца, хотя согласно некоторым экспериментальным данным, прочность бетона на растяжение после длительного предшествующего обжатия снижается. При решении вопроса об эффективности применения предварительно напряженных колонн в реальных объектах строительства необходимо дифференцировано учитывать конкретные условия их эксплуатации, а также транспортировки и монтажа конструкций. Например, в отдельных случаях преднапряжение незначительно повысит несущую способность колонн, однако их высокая трещиностойкость и жесткость существенно скажутся при перевозке и монтаже длинных не-

разрезных колонн многоэтажных зданий или при эксплуатации в агрессивных средах и т.п. При назначении "оптимального" обжатия бетона и области эффективного применения преднапряжения в сжатых элементах, кроме критерия несущей способности необходимо иметь в виду указанные особенности и подходить к решению той или иной задачи на основе технико-экономического анализа. Дальнейшие теоретические и экспериментальные исследования преднапряженных колонн необходимо связать с изучением влияния длительных и повторных нагрузок на их несущую способность.

Л и т е р а т у р а

1. Чернобаев В.И. Экспериментальное исследование несущей способности предварительно напряженных и обычно армированных пустотелых колонн. В сб. "Строительные конструкции". Вып. XXII. Киев, "Будивельник", 1974.
2. Светов А.А. Исследование прочности, трещиностойкости и жесткости гибких предварительно напряженных внецентренно сжатых колонн при кратковременном напряжении. В сб. "Исследование предварительно напряженных колонн при кратковременном и длительном нагружении". Труды НИИЖБ. Вып. 13. М., 1974.
3. Пецольд Т.М. Исследование несущей способности гибких предварительно напряженных стоек прямоугольного сечения при центральном сжатии. Автореферат дисс. Белорусский политехнический институт. Минск, 1966.
4. Набоков И.И. Экспериментальное и теоретическое исследование устойчивости предварительно напряженных железобетонных элементов при кратковременном действии нагрузки. Автореферат дисс. НИИСК Госстроя СССР, М., 1975.
5. Вайцекаускас Л.А. Влияние предварительного напряжения на работу внецентренно сжатых элементов при малых эксцентриситетах внешней нагрузки. Автореферат дисс. Каунасский политехнический институт, Каунас, 1970.
6. Житушкин В.Г. Исследование прочности преднапряженных внецентренно сжатых по первому случаю железобетонных элементов, армированных высокопрочной проволокой. Автореферат дисс. НИИСК Госстроя СССР, Киев, 1970.

7. Оршанский Е.В. Несущая способность центрально и вне-центренно сжатых предварительно напряженных железобетонных элементов. "Бетон и железобетон", № 2, 1967.

8. Самуил Арони. Гибкие предварительно напряженные железобетонные колонны. Дисс. на соискание ученой степени доктора философии. Беркли. 1967.

9. Лакюнас Г.А. Влияние предварительного напряжения на устойчивость гибких центрально сжатых железобетонных элементов. Автореферат дисс. Каунасский политехнический институт, Каунас, 1964.

10. Лазаревичус Г.К. О несущей способности предварительно напряженных центрально сжатых стержней средних гибкостей. Автореферат дисс. Каунасский политехнический институт, 1964.

В.М. Селюков

УДК 624.072.2.51

ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЙ ПРИЕМ АНАЛИЗА ПРЕДНАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ СЕЧЕНИЙ ПРИ ИЗГИБЕ

Когда сечение симметрично и материал одинаково работает на растяжение - сжатие, то нейтральный слой, занимая среднее положение, не меняет его в процессе увеличения нагрузки вплоть до образования пластического шарнира.

Если сечение не симметрично, либо состоит из материала, различным образом отзывающегося на растяжение - сжатие, нейтральный слой не расположен в середине высоты даже в начальной стадии загрузки. С возрастанием нагрузки за пределами упругих деформаций материала нейтральный слой сместится в ту или иную сторону в зависимости от конкретных условий. Образование пластического шарнира в этом случае характеризуется равенством

$$W_{пл} = S_1 + S_2,$$