

*к.т.н. Карапетян С.Х.,  
к.т.н. Псюк В.В.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина),  
к.т.н. Отрош Ю.А.  
(Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля,  
м. Черкаси, Україна)*

## **ВЛИЯНИЕ НЕМНОГОКРАТНО ПОВТОРНЫХ НАГРУЖЕНИЙ НА НЕСУЩЮЮ СПОСОБНОСТЬ ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СТОЕК**

*Наведено результати експериментальних досліджень впливу небагаторазово повторних навантажень високого рівня на стійкість гнучких позацентрово стислих колон. Встановлено вплив рівня й кількості циклів навантажень на міцність, стійкість і деформативність залізобетонних колон.*

***Ключові слова:** повторні навантаження, кількість циклів навантажень, позацентрове стиснення, залізобетонні колони, стійкість, гнучкість, міцність, напружено-деформований стан.*

*Приведены результаты экспериментальных исследований влияния многократно повторных нагрузений высокого уровня на устойчивость гибких внецентренно сжатых колонн. Установлено влияние уровня и количества циклов нагрузений на прочность, устойчивость и деформативность железобетонных колонн.*

***Ключевые слова:** повторные нагружения, количество циклов нагружений, внецентренное сжатие, железобетонные колонны, устойчивость, гибкость, прочность, напряженно-деформированное состояние.*

***Актуальность проблемы.** Железобетонные конструкции в реальных условиях эксплуатации нередко подвергаются воздействию многократно повторных нагрузений. При этом проявляются малоизученные и не учитываемые в нормативных документах особенности деформирования и разрушения материалов, а также элементов конструкций.*

*Внецентренно сжатые железобетонные элементы, находящиеся в выше указанных условиях нагружения (природного или технологического характера) также имеют определенные особенности работы, которые необходимо учитывать при расчете их на устойчивость и прочность.*

**Анализ исследований.** Имеющиеся экспериментальные данные свидетельствуют о значительном влиянии уровня, характера, скорости и количества циклов многократно повторных нагружений на прочностные и деформативные свойства бетона, железобетона и несущую способность конструкций, выполненных из них [1, 2, 3].

В исследованиях внецентренно сжатых железобетонных элементов, находящиеся в условиях циклических нагружений имеются данные о пределе нагрузок, начальных эксцентриситетов, приспособляемости и количестве циклов при котором наступает стабилизация деформаций [4, 5, 6]. В большинстве работ рассматриваются стержни малой гибкости, т.е.  $\lambda \leq 6$ . Исследования влияния многократно повторных нагружений высокого уровня на несущую способность и устойчивость сжатых элементов средней и большей гибкости практически отсутствуют.

**Постановка задачи.** Для решения указанных задач в лаборатории кафедры строительных конструкций ДонГТУ проведены экспериментальные исследования внецентренно сжатых шарнирно опертых железобетонных стоек прямоугольного сечения с размерами 60x120 мм и относительным эксцентриситетом приложения нагрузки  $\delta_e = 0,167$  ( $e_0 = 10$ мм).

Стойки были изготовлены из тяжелого бетона класса В30 и имели одинаковую длину 100 см ( $l_p = 105$  см - между центрами шарниров). Гибкость стоек в плоскости наименьшей жесткости  $\lambda = 16,7$  ( $\lambda = 17,5$ ). Армирование стоек симметричное в виде вязаных каркасов, состоящих из четырех рабочих стержней диаметром 6 мм ( $\mu = 1,9\%$ ) и поперечных стержней.

Испытания стоек проводили на гидравлическом прессе ГРМ-2А мощностью 1000кН. Нагрузка на образцы передавалась через цилиндрический (внизу) и шаровой (вверху) шарниры. Прогибы стоек измерялись в середине расчетной длины прогибомерами с ценой деления 0,01мм, а продольные деформации - индикаторами часового типа с ценой деления 0,001мм на базе 200мм. Центрирование стоек по физической оси и выставление начального эксцентриситета производились с помощью специального приспособления разработанного в НИИСК.

В зависимости от характера нагружений стойки разделялись на три серии (С-I, С-II и С-III). Стойки серии С-I (базовые) испытывали однократной статической нагрузкой с целью определения несущей способности и сопоставления её с результатами испытаний стоек серий С-II и С-III. Стойки серии С-II подвергались предварительному повторному нагружению и последующему кратковременному нагружению до разрушения. Стойки серии С-III подвергались воздействию повторных на-

грузений до разрушения. Все стойки испытывались в мягком режиме нагружения.

Верхние уровни повторных нагружений  $\eta_B$  для стоек серий С-II и С-III назначались относительно критической нагрузки, полученной при испытании стоек серии С-I, составляли 0,85 и 0,85 соответственно. Коэффициент асимметрии циклов принимался равным  $\rho_p = 0,1$ . Количество повторных нагружений для стоек серии С-II назначалось от 1 до 15 циклов (с учетом возможной стабилизации деформаций).

В соответствии с программой испытаний стойки серии С-II в течение 14-ти циклов нагружались и разгружались а, на 15-м цикле доводились до разрушения однократной статической нагрузкой. Стойки серии С-III подвергались воздействию повторных нагружений вплоть до наступления разрушения, т.е. определялось предельное число циклов разрушения.

В результате испытаний все стойки серии С-I разрушались вследствие потери устойчивости, за момент начало которой принимался самоускоряющийся рост прогибов. Средняя величина критической нагрузки составила 115,5 кН, а значения соответствующих относительных деформаций бетона сжатой грани стоек –  $\varepsilon_1 = 248,5 \times 10^{-5}$ , что меньше предельных  $\varepsilon_{bu}$ . Средняя величина максимальных прогибов в середине стоек составила  $f = 7,63 \text{ мм}$ .

Результаты испытаний серии С-II показали, что несущая способность стоек после 14-ти предварительных циклов нагружений по сравнению с базовыми стойками практически не изменилась, что соответствует результатам испытаний изгибаемых элементов, приведенным в [7]. Все стойки серии С-II при догрузении также разрушались вследствие потери устойчивости, что наглядно иллюстрируют приведенные на рис. 1 характерные диаграммы " $P - \varepsilon_1$ " и " $P - f$ ". Средняя величина критической нагрузки при этом составила 113,8кН, а значения соответствующих относительных деформаций сжатой грани стоек примерно соответствовали деформациям образцов серии С-I. Средняя величина максимальных прогибов в середине стоек составила  $f = 7,1 \text{ мм}$ . Трещины в бетоне стоек серий С-I и С-II образовывались непосредственно перед их разрушением.

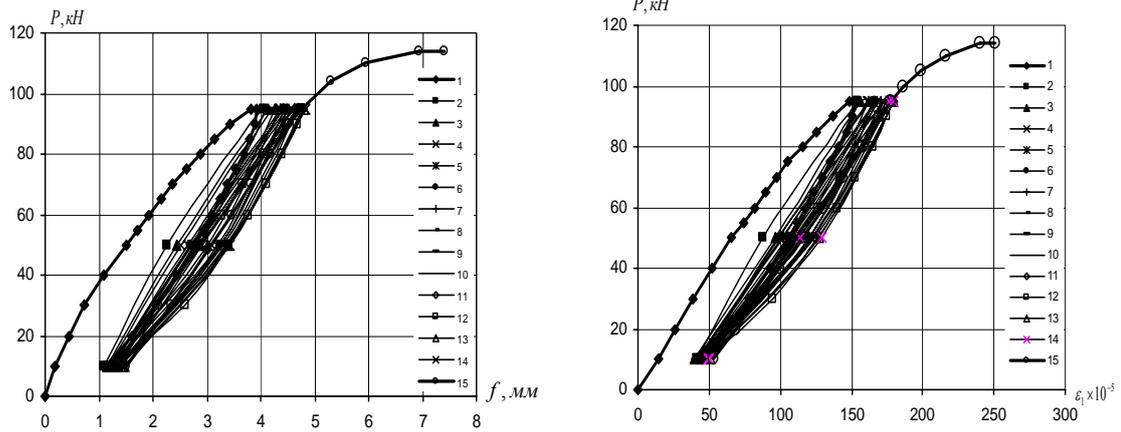


Рисунок 1 – Зависимости “ $P-f$ ” и  $P-\varepsilon_1$  после 14-ти циклов предварительных нагружений и статического догружения (15-й цикл) стойки С-II-3

На рис. 2 приведены диаграммы циклического деформирования “ $P-\varepsilon_1$ ” и “ $P-f$ ”, полученные при испытании стойки С-III-1. Все стойки данной серии при испытании разрушались в процессе повторных нагружений вследствие достижения предельных деформаций в бетоне сжатой зоны при среднем числе циклов до разрушения  $N_r=138$ .

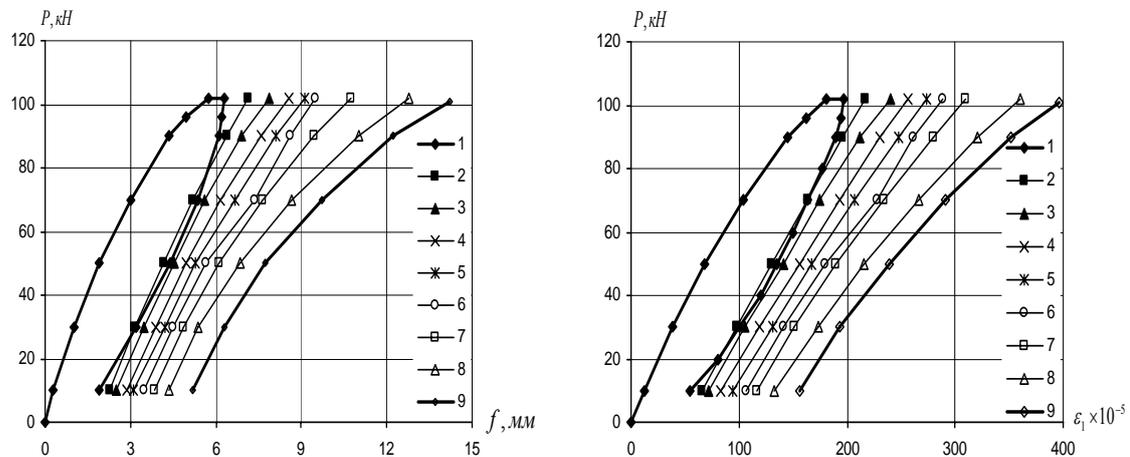


Рисунок 2 – Зависимости “ $P-f$ ” и  $P-\varepsilon_1$  при повторных нагружениях стойки С-III-1: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 - нагружения 1, 11, 21, 41, 61, 81, 101, 111, 121 циклов нагружений соответственно

Анализируя значения максимальных деформаций сжатой грани по бетону, замеренные в критическом состоянии стоек серий С-I и С-II, можно сделать вывод, что они несколько больше (на  $25 \div 35\%$ ) значений  $\varepsilon_{bR}$ , но заметно меньше предельных  $\varepsilon_{bu}$  для бетона класса В30. Этот вывод свидетельствует о том, что причиной исчерпания несущей способ-

ности железобетонных стоек серии С-I и С-II в опытах была потеря устойчивости.

Результаты испытаний стоек серии С-III позволяет сделать вывод о существенном влиянии многократно повторных нагружений на характер деформирования и несущую способность стоек данной серии. Так, средняя величина разрушающей нагрузки стоек составила 100,9 кН, а среднее значение соответствующих относительных деформаций сжатой грани  $\varepsilon_1 = 377,41 \times 10^{-5}$ . При этом, как и для стоек серий С-I и С-II напряжения в сжатой арматуре превышали, а в растянутой – не достигали предела текучести. Средняя величина максимальных прогибов в середине стоек составила  $f = 12,1 \text{ мм}$ . Образование трещин в стойках серии С-III при повторных нагружениях происходило за несколько циклов (от 1...20 циклов) до разрушения.

Сравнение результатов испытаний серий С-I и С-III показало, что значения продольных деформаций сжатых граней и прогибов, предшествующие разрушению стоек серии С-III в среднем на 50 и 70% соответственно больше чем для стоек серии С-I. При этом среднее значение деформаций  $\varepsilon_1$  численно близки к предельным значениям  $\varepsilon_{bu}$  для бетона стоек класса В30, а несущая способность стоек серии С-III в среднем ниже на 13%, чем стоек серии С-I. Исходя из сказанного выше, можно заключить, что причиной потери несущей способности стоек серии С-III явилась истощение прочности и деформативности сжатого бетона.

### **Выводы:**

1. Повторные нагружения с числом циклов до 15-ти при заданном высоком уровне нагружений на несущую способность стоек не влияют, а с числом циклов до разрушения приводят к снижению несущей способности и выработке деформаций сжатого бетона стоек до предельных значений.

2. Несущая способность стоек серий С-I и С-II определялась устойчивостью, а серии С-III – прочностью или устойчивой прочностью.

### **Библиографический список**

1. Бамбура А.Н. Работа изгибаемых железобетонных элементов при многократно повторных нагружениях высокого уровня / А.Н. Бамбура, Т.Н. Подобенко // Деп. во ВНИИИС Госстроя СССР. - Вып. 8. - 1988. - № 8346.

2. Подобенко Т.Н. Напряженно-деформированное состояние железобетонных изгибаемых элементов при кратковременных повторных нагружениях: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. тех. наук: спец. 05.23.01 "Строительные конструкции, здания и сооружения" / Т.Н. Подобенко. – К.: НИИСК, 1991. - 17 с.

3. Яковлев С.К. Приспособляемость железобетонных конструкций при действии повторных кратковременных нагрузок: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. тех. наук: спец. 05.23.01 "Строительные конструкции, здания и сооружения" / С.К. Яковлев. - М.: 1984. - 23 с.

4. Борисюк О.П. Зміна напружено-деформованого стану перерізів керамзитозалізобетонних елементів під дією малоциклових навантажень / О.П. Борисюк / Матеріали міжнародної науково-практичної конференції "Совершенствование строительных материалов, технологий и методов расчета конструкций в новых экономических условиях". – Сумы, 1994. - С. 244-245.

5. Казачек В.Г. Несущая способность и деформативность гибких сжато-изогнутых преднапряженных железобетонных элементов при кратковременном однократном и повторном нагружении: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. тех. наук: спец. 05.23.01 "Строительные конструкции, здания и сооружения" / В.Г. Казачек. - М.: 1980. – 21 с.

6. Пухонто Л.М. Совершенствование колонн подсилованных этажей зерновых элеваторов / Л.М. Пухонто, Ф.К. Джуха // Бетон и железобетон. – 1992. – № 1. – С. 9-10.

**Рекомендована к печати д.т.н., проф. Должиковым П.Н.**