

ВЛИЯНИЕ ДЕЙСТВИЯ МНОГОКРАТНО ПОВТОРЯЮЩИХСЯ НАГРУЖЕНИЙ НА ВЫСОТУ СЖАТОЙ ЗОНЫ БЕТОНА

Кушнарёва Г.А. (Одесская академия строительства и архитектуры)

Исследовано влияние статического и многократно повторяющихся нагрузений на высоту сжатой зоны бетона. При действии статического нагружения высота сжатой зоны зависит от процента продольного армирования и величины пролета среза, а при многократно повторяющемся нагружении – еще и от количества циклов и коэффициента асимметрии цикла.

Проблема экономного использования материальных ресурсов и снижение материалоемкости изделий при использовании местных низкопрочных заполнителей является одной из актуальных проблем в области строительства.

Экономия материальных ресурсов на основе бетонных и железобетонных конструкций может быть достигнута за счёт использования эффективных местных материалов. В связи нехваткой кварцевого песка в южных регионах Украины особую актуальность приобретает использование отходов известняков. Известняковый песок, получаемый дроблением и рассевом отходов камнепиления, по своим механическим характеристикам пригоден для использования бетона и конструкций. [1]

Многие типовые железобетонные конструкции покрытий и перекрытий, рассчитанные на статическую нагрузку, подвергаются в процессе эксплуатации воздействию многократно повторяющихся нагрузок, что требует оценки их усталостной прочности. При проектировании зданий и сооружений не учитывается оценка прочности конструкций, изготовленных из местных материалов.

Долговечность конструкций, подверженных действию многоцикловых нагружений, их надёжность зависит от того, насколько будут учтены при проектировании и возведении их особенности поведения бетона и параметры нагрузки.

В целях исследования работы наклонных сечений железобетонных балок на гранитном щебне и известняковом растворе при воздействии многократно повторяющихся нагружений в соответствии с планом изготовлены и испытаны 54 балки [2].

Балки были запроектированы так, чтобы предотвратить их преждевременное разрушение по наклонным сечениям и от нарушения анкеровки продольных стержней арматуры.

Железобетонные балки армированы двумя плоскими каркасами с продольной рабочей арматурой класса А-III.

Влияние поперечной арматуры на усталостную прочность наклонных сечений изучалась на балках с интенсивностью поперечного армирования в пролёте среза $q_{sw}=2,764 \times 10^{-2}; 2,352 \times 10^{-2}; 0,588 \times 10^{-2}$ кН/м.

Балки изготовлены из бетонов на гранитном щебне и известняковом песке. Тепловая обработка осуществлялась по режиму: выдержка после бетонирования - 3-4 часа, подъём температуры - 3 часа, изотермический прогрев при $t^{\circ} 75-85^{\circ}C$ - 1,5 часа.

Возраст опытных образцов во время испытаний составлял 9-12 месяцев. Этим исключалось влияние усадки бетона на прочностные характеристики бетона и напряжённое состояние испытываемых образцов.

Экспериментальные балки испытывались как однопролётные, свободно опертые, загруженные двумя симметрично расположенными силами с расчетным пролётом 1200мм. Статические испытания железобетонных балок проводились в двух случаях: а) испытания опытных образцов до разрушения; б) первичное нагружение всех образцов, подвергающихся воздействию многократно повторяющейся нагрузки. Испытания опытных образцов до разрушения были проведены с целью определения несущей способности железобетонных балок по наклонному сечению и значению максимальной нагрузки цикла.

Испытание статической нагрузкой до максимума позволяет получить исходные данные, необходимые для определения деформаций бетона, продольной и поперечной арматуры, наклонных и нормальных трещин в опирной зоне.

Целью настоящего исследования является получение модели влияния некоторых параметров на высоту сжатой зоны бетона железобетонных балок при статическом нагружении до верхнего предела нагрузки. Усталостная прочность по наклонным сечениям исследовалась при уровне нагружения равному 0,31 статического разрушающего усилия.

В работе [2] был проведён комплекс исследований по влиянию величины пролёта среза, прочности бетона, коэффициента продольного армирования на высоту сжатой зоны бетона железобетонных балок при действии статической нагрузки. Высота сжатой зоны определялась опытным путём. Для получения надёжных экспериментальных данных, достаточных для построения математической модели, исследования осуществлялись с использованием теории планирования эксперимента.

Эксперимент был реализован по плану Бокса - Бенкина, который позволил получить количественное и качественное влияние отдельных факторов и их взаимодействия.

Характеристика исследуемых факторов и уровни их варьирования приведены в таблице 1.

Таблица 1

Факторы		Уровни варьирования			Интервал варьирования
Натуральный вид	Кодированный вид	-1	0	+1	
1	2	3	4	5	6
Пролёт среза (a/h_0)	X_1	1.14	2.0	2.86	0.86
Коэффициент продольного армирования (μ_s)	X_2	0.013	0.018	0.023	0.005
Прочность бетона (R_b) МПа	X_3	17	21	25	4
Коэффициент асимметрии цикла (ρ_a)	X_4	0.25	0.33	0.41	0.08

Обработав результаты экспериментов, получили математическую модель в виде полинома второй степени при статическом нагружении до верхнего предела повторной нагрузки.

По математической модели проведён сравнительный анализ влияния каждого из факторов на изменение высоты сжатой зоны бетона железобетонных балок на известняковом песке.

Полное уравнение математической модели при статическом нагружении:

$$Y(x) = 8,437 + 0,864 X_1 + 1,68 X_2 - 0,18 X_1^2 - 1,525 X_2^2 - 2,161 X_3^2 - 0,906 X_4^2 - 0,39 X_1 X_2 - 0,272 X_2 X_3 + +1,53 X_3 X_4 \quad (1)$$

При анализе математической модели (1) видно, что наибольшее влияние на высоту сжатой зоны бетона оказывает коэффициент продольного армирования (фактор X_2), затем пролёт среза (фактор X_1). Все факторы оказывают нелинейное влияние на выходной параметр. Высота сжатой зоны увеличивается по отношению к средним значениям ($b_0 = 8,4367$ см) с увеличением коэффициента продольного армирования (фактор X_2) от 0,013 до 0,023 на 39,86%, с увеличением пролёта среза от $1,14 h_0$ до $2,86 h_0$ (фактор X_1) – на 20,48%.

При этом оба фактора, а также фактора X_3 и X_4 , зависят нелинейно. Знак «минус» перед ними свидетельствует о том, что при дальнейшем увеличении этих факторов за пределами варьирования значительного увеличения высоты сжатой зоны не произойдет. Существенно взаимодействуют между собой все 3 фактора.

При одновременном увеличении X_2 и X_3 , X_3 и X_4 – высота сжатой зоны увеличивается. Геометрическая интерпретация влияния исследуемых факторов на высоту сжатой зоны представлены на рис.1 (а, б, в).

Определение параметров, характеризующих наклонное сечение, высоту сжатой зоны над наклонной трещиной «Х» и длину проекции наклонной трещин «С» является наиболее трудоёмким. Высота сжатой зоны зависит от длины проекции наклонной трещины, от величины пролёта среза (от наличия хомутов в пролёте среза), процента продольного армирования, коэффициента асимметрии цикла повторной нагрузки. Высота «Х» определяет несущую способность в наклонном сечении, а длина «С» – несущую способность хомутов.

Анализируя экспериментальные данные при действии многократно повторяющихся нагрузок, была выявлена зависимость параметров «Х» и «С». Чем больше «Х», тем больше «С» и наоборот. Из всей системы развивающихся наклонных трещин, разрушение наступало по наклонному сечению, определяемому совокупностью предельных значений «Х» и «С» и это сечение обладало наименьшей несущей способностью. Так, в балке Б-1А-3 высота сжатой зоны при первичном статическом нагружении составляла: в сечении, где произошло разрушение $X_1 = 6$ см, а во втором $X_2 = 8,1$ см; при $5 \cdot 10^3$ циклах нагружения $C_1 = 3$ см, а во втором $C_2 = 6,3$ см. Высота сжатой зоны бетона в наклонном сечении в большей степени снижалась на начальной стадии многократно повторяющегося нагружения. Затем высота сжатой зоны относительно стабилизировалась. При $N = 100 \cdot 10^3$ циклах повторяющейся нагрузки

$X_1 = 3$ см, а $X_2 = 4,2$ см. Длина проекции наклонной трещины перед разрушением в сечении, где произошло разрушение, $C_2 = 14$ см. В нижней зоне у опоры балки наклонная трещина пересекла продольную арматуру вблизи опоры. В сечении, где наблюдалась совокупность предельных значений "X" и "C" произошло разрушение при $N = 123,3 \cdot 10^3$ ($\mu_s = 2.30\%$).

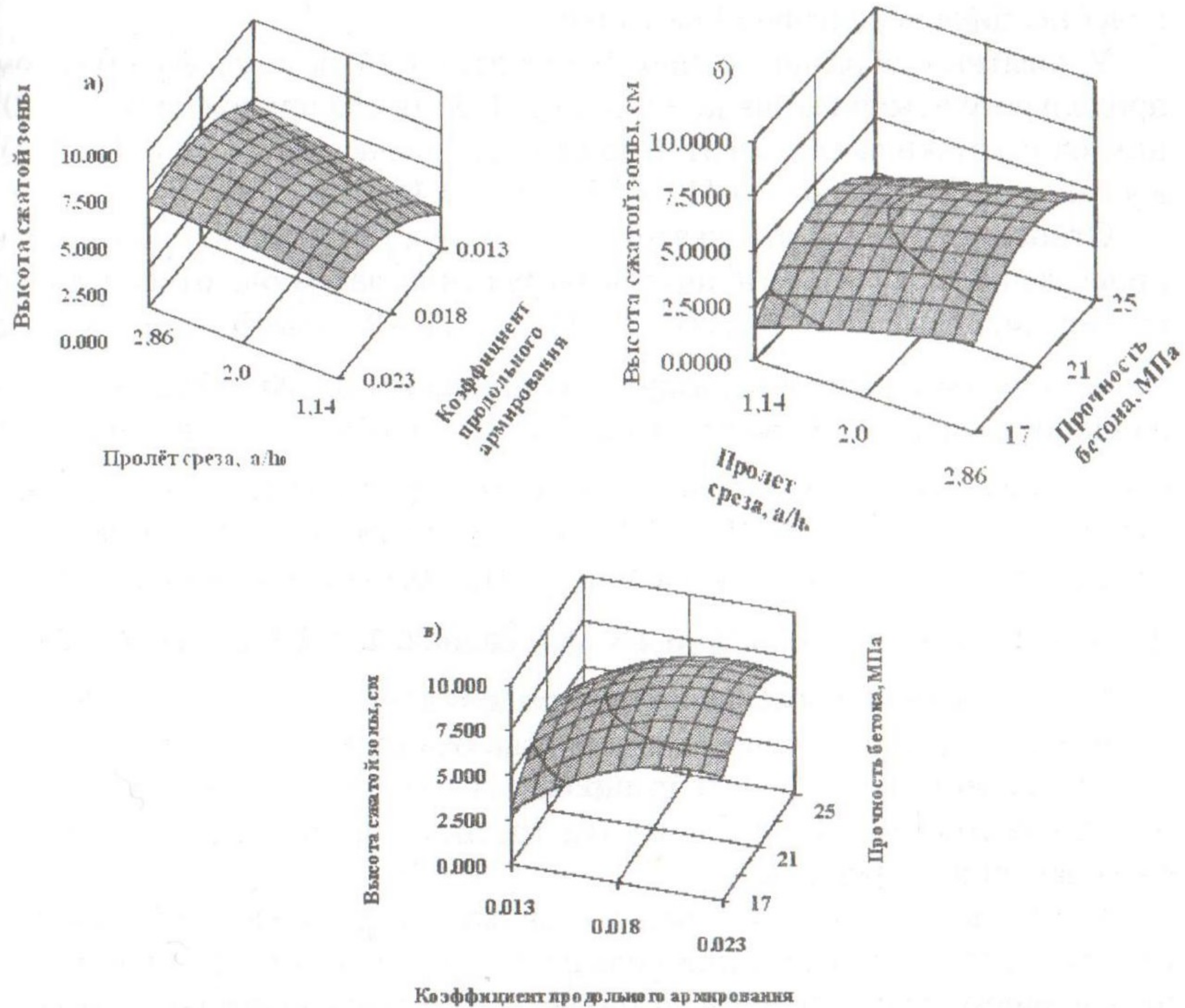


Рис.1. Изменение характера плоскости, описывающей высоту сжатой зоны бетона при действии статических нагрузок от пролёта среза, прочности бетона и процента продольного армирования (а, б, в)

У экспериментальных балок с малым процентом продольного армирования ($\mu_s = 1.3\%$) наклонные трещины появлялись при 300 циклах повторной нагрузки и развивались стремительно. Высота сжатой зоны при первичном статическом нагружении составляла $X_1 = 9$ см, а $X_2 = 13$ см. После приложения многократно повторяющейся нагрузки $N = 5.2 \cdot 10^3$ $X_1 = 0.4$ см, а $X_2 = 12$ см и проекции наклонной трещины в се-

чении, где произошло разрушение, $C_1 = 13$ см, а $C_2 = 10$ см. Разрушение происходило с дроблением растянутого бетона вблизи опоры при $N = 7 \cdot 10^3$ циклов нагрузжений. При этом происходило образование вторичных, более пологих наклонных трещин.

Во всех экспериментальных балках происходило уменьшение средней относительной высоты сжатой зоны бетона ξ_{cp}^{on} с увеличением количества циклов повторной нагрузки.

У опытных образцов с пролётом среза $1,14 h_0$ с коэффициентом продольного армирования $\mu_s = 2,3\%$ $\rho_a = 0,33$ после приложения $100 \cdot 10^3$ циклов нагрузки высота сжатой зоны уменьшилась на 51,02% (Б-1А-3), а у балок с $\mu_s = 1,8\%$ $\rho_a = 0,41$ (Б-1А-19) – на 46,15%.

Относительная высота сжатой зоны бетона интенсивно снижалась в процессе первых $(1-10) \cdot 10^3$ циклов загрузки, затем она относительно стабилизировалась. В балках (Б-1Б-3; Б-1Б-19) уменьшение ξ_{cp}^{on} за $10 \cdot 10^3$ циклов повторной нагрузки составилось 85,5% общего уменьшения относительной сжатой зоны бетона. Наибольшее снижение ξ_{cp}^{on} отмечалось у образцов с низким процентом продольного армирования. Так, у балок с $\mu_s = 1,3\%$ (Б-1 Б-4), после приложения $1 \cdot 10^3$ циклов нагрузжений ξ_{cp}^{on} уменьшилось на 54,87% ($\rho_a = 0,33$), а у балок с $\mu_s = 1,8\%$ ξ_{cp}^{on} уменьшилась на 36,02% (Б-1Б-7), у балок с $\mu_s = 2,3\%$ – на 26,52%.

Таким образом, с уменьшением продольного армирования, средняя высота сжатой зоны бетона уменьшилась быстрее, чем у балок с высоким процентом продольного армирования, так как у слабо армированных элементов быстрее развиваются трещины, и происходит рост высоты наклонной трещины.

Анализом экспериментальных данных установлено, что высота сжатой зоны увеличилась при повышении ρ_a , так как вследствие менее интенсивного роста трещин, позднее достигалась предельная высота сжатой зоны бетона $\omega\omega_R$. При $\rho_a = 0,41$ $\mu_s = 1,8\%$ высота сжатой зоны бетона в балках (Б-1Б-19) после приложения $1 \cdot 10^3$ циклов уменьшилась на 24,45%, при $\rho_a = 0,25$ $\mu_s = 1,8\%$ – на 30% (Б-1А-20), при $\rho_a = 0,33$ $\mu_s = 1,8\%$ – на 26,13% (Б-1А-7).

У опытных образцов с пролётом среза $2,0 h_0$ после приложения многократно повторяющейся нагрузки средняя высота сжатой зоны после приложения $20 \cdot 10^3$ циклов уменьшилась на 40,85% (Б-2А-21).

Уменьшение высоты сжатой зоны зависело от процента продольного армирования. Так, у балок с μ_s , 1,3%, 1,8%, 2,3% при $\rho_a = 0,33$ уменьшение составляло перед разрушением соответственно 45,82%; 43,85%;

39,29%; при $\rho_a = 0,25$ с $\mu_s = 1,8\%$ – 47,61%; $\mu_s = 2,3\%$ – 26,15%; а при $\rho_a = 0,41$ с $\mu_s = 1,8$ – 39,51%, с $\mu_s = 2,3$ – 8,1%.

При пролёте среза $2,86h_0$ относительная высота сжатой зоны интенсивно снижалась в первые $1 \cdot 10^3$ циклов многократно повторяющейся нагрузки. Стабилизации относительной высоты сжатой зоны не наблюдалось. Уменьшение $\xi^{сп}$ в опытных образцах с $\mu_s = 1,3\%$ (Б-3Б-2) за $1 \cdot 10^3$ циклов нагрузки составило 94,48% общего уменьшения относительной высоты сжатой зоны бетона, а у балок с $\mu_s = 2,3\%$ – 20,29%.

Выводы

1. При действии статических нагружений наибольшее влияние на высоту сжатой зоны оказывает коэффициент продольного армирования и пролёт среза.
2. При действии многократно повторяющихся нагрузок высота сжатой зоны уменьшилась с ростом количества циклов и зависела еще и от коэффициента асимметрии цикла.
3. Выявлено, что критическая высота сжатой зоны бетона при многоцикловых нагружениях к моменту разрушения остаётся постоянной, независимо от значений коэффициента асимметрии цикла ρ_a , но достигается при различных количествах циклов нагружения в зависимости от интенсивности роста трещин.

Литература

1. Дорофеев В.С. Исследование изгибаемых элементов конструкций из мелкозернистого известнякового бетона при взаимодействии поперечных сил. – Автореферат диссертации канд. технических наук. Одесса. 1972. – 25с.
2. Куцнарёва Г.А. Несущая способность и расчёт железобетонных балок по наклонным сечениям при действии многократно повторяющихся нагрузок. – Автореферат диссертации канд. технических наук. Одесса. 1990. – 18с.