

## ВЛИЯНИЕ ДЕЙСТВИЯ ЦИКЛОВОЙ НАГРУЗКИ НА ШИРИНУ РАСКРЫТИЯ НАКЛОННЫХ ТРЕЩИН.

Дорофеев В.С., Кушнарёва Г.А. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

Исследовано влияние многократно повторяющихся нагрузок на ширину раскрытия трещин в изгибаемых элементах при изменении их параметров. Интенсивность и ширина раскрытия наклонных трещин зависят от величины пролета среза, коэффициента асимметрии цикла и количества циклов повторяющейся нагрузки.

Проблема экономного использования материальных ресурсов и снижение материалоемкости изделий при использовании местных низкопрочных заполнителей является одной из актуальных проблем в области строительства (1). Долговечность конструкций, подверженных действию многоцикловых нагружений, их надежность зависит от того, насколько правильно будут учтены при проектировании и возведении особенности поведения бетона и параметры нагрузки при повторных нагружениях. Сопротивление наклонных сечений балок, изготовленных из бетона на известняковом песке при действии многократно повторяющихся нагрузок изучено недостаточно. При проектировании зданий и сооружений не учитывается оценка усталостной прочности и трещиностойкости конструкций, изготовленных из местных материалов.(2)

Учитывая многофакторность явлений, задачей настоящего исследования является получение моделей, которые бы отражали работу приопорной зоны, возникновение и развитие наклонной трещины при многоцикловом нагружении и перед разрушением.

В лаборатории железобетонных конструкций Одесской государственной академии строительства и архитектуры проведен комплекс исследований по влиянию величины пролета среза, прочности бетона, коэффициента продольного армирования и коэффициента асимметрии цикла на процесс образования и развития наклонных трещин при действии многократно повторяющихся нагрузок. Для получения надежной



информации при минимальном объеме экспериментов исследования проводились, с использованием четырехфакторного плана Бокса-Бенкина, позволяющего получить количественное и качественное влияние отдельных факторов и их взаимодействия, определить область оптимума по отдельным параметрам с учетом их взаимодействия.

Перечень независимых переменных определен по результатам обработки априорной информации. Анализ подверглись исследования, проведенные по оценке прочности и жесткости наклонных сечений изгибаемых элементов, которые загружены сосредоточенными силами. В анализ включены опытные образцы из бетонов на пористых заполнителях. Уровни варьирования переменных приведены в таблице. I.

### *Интервалы и уровни варьирования переменных*

*Таблица I*

Факторы		Уровни варьирования			Интервал варьирования
Натуральный вид	Кодированный вид	-I	0	+I	
I	2	3	4	5	6
Пролет среза ( $a/h_0$ )	$X_1$	1,14	2,0	2,86	0,86
Коэффициент продольного армирования ( $\mu_s$ )	$X_2$	0,013	0,018	0,023	0,005
Прочность бетона ( $R_b$ ), МПа	$X_3$	17	21	25	4
Коэффициент асимметрии цикла ( $\rho_a$ )	$X_4$	0,25	0,33	0,41	0,08

План реализовали на железобетонных балках размером 100x100x1400мм, армированных двумя плоскими каркасами с продольной арматурой периодического профиля класса А-III и поперечными из арматуры класса А-I и Вр-I. Балки изготовлены из бетонов на гранитном щебне и известняковом песке. Известняковый песок фрак-



ции до 5мм получали отсевом из камнедобычи известняков-ракушечников Александровского месторождения Одесской области. Каждую группу, состоящую из двух балок-близнецов, бетонировали одновременно в металлических формах. Образцы подвергали тепловой обработке, которая осуществлялась по режиму: выдержка после бетонирования -3....4 часа, подъем температуры-3часа, изотермический прогрев при температуре 75....85 °С - 1,5 часа. Выдерживали образцы в естественных температурно - влажностных условиях. Возраст бетона к моменту испытания - 9....12 месяцев.

Испытание проводили на универсальном гидравлическом прессе ГРМ - 2А с пульсатором. Частота приложения нагрузки 335 циклов в минуту. Экспериментальные балки испытывали как однопролетные, свободно опертые, загруженные двумя сосредоточенными силами с расчетным пролетом 1200мм.

Перед приложением многократного повторяющейся нагрузки образцы ступенями нагружали статически до верхнего предела повторной нагрузки. Эти испытания позволили определить статическую разрушающую нагрузку и момент трещинообразования.

Затем образцы подвергали многократно повторяющемуся нагружению с уровнем от 0,3 до 0,78 статического разрушающего усилия, пульсацию периодически прерывали при количестве циклов, равном (0,01; 0,05; 0,1; 1,0)·10<sup>3</sup>. Во время остановок загружали статически до верхнего предела повторной нагрузки, измеряли деформации бетона и арматуры, фиксировали образовавшиеся трещины и замеряли их раскрытие, определяли прогибы.

Обработав результаты экспериментов, получили математические модели в виде полиномов второй степени при количестве циклов, равном 1·10<sup>3</sup>, и перед разрушением. Образец считали разрушенным, если ширина раскрытия наклонной трещины превышала допустимую нормами величину.

Полные уравнения математической модели при N=1·10<sup>3</sup> циклов:

$$Y(a_{кр}) = 0,25 + 0,121 X_1 + 0,012 X_2 - 0,012 X_3 - 0,013 X_4 - 0,025$$

$$X_2^2 + 0,163 X_3^2 + 0,05 X_4^2 + 0,037 X_1 X_2 - 0,25 X_1 X_3$$

$$+ 0,025 X_1 X_4 + 0,013 X_2 X_3 - 0,038 X_2 X_4 + 0,1 X_3 X_4$$

Перед разрушением

$$Y(a_{кр}) = 0,6 + 0,022 X_1 + 0,05 X_2 - 0,021 X_3 - 0,004 X_4 - 0,46 X_1^2 - 0,158 X_2^2 -$$

$$0,098 X_3^2 - 0,127 X_4^2 - 0,063 X_1 X_2 - 0,025 X_1 X_4 + X_1 X_3 + 0,038 X_2 X_3 +$$

$$0,012 X_2 X_4 + 0,138 X_3 X_4$$



Оценка изменчивости отдельных факторов и их взаимодействия позволила упростить уравнения, исключив статически незначимые величины, и получить упрощенные уравнения, которые приведены ниже;

При  $N=1 \cdot 10^3$  циклов

$$Y(a_{cre}) = 0,265 + 0,12 X_1 + 0,155 X_3^2 + 0,1 X_3 X_4$$

Перед разрушением

$$Y(a_{cre}) = 0,396 + 0,092 X_1 + 0,191 X_3 - 0,158 X_2^2 + 0,138 X_3 X_4$$

### Анализ моделей

Из включенных в уравнениях зависимых переменных в упрощенных моделях, остались все, хотя и в разных сочетаниях, в зависимости от стадии напряженно – деформированного состояния. Если в момент образования трещин определяющими являются пролет среза, прочность бетона и коэффициент асимметрии цикла, то в момент, предшествующий разрушению, ширина раскрытия наклонной трещины зависит еще и от насыщения наклонного сечения продольной рабочей арматурой.

С увеличением количества нагружений увеличивается ширина раскрытия наклонных трещин. Если при  $N=1 \cdot 10^3$  циклов эта величина составляла 0,25мм, то перед разрушением при одном и том же пролете среза, коэффициенте продольного армирования, асимметрии цикла и прочности бетона эта величина достигла 0,6мм.

Наиболее существенное количественное влияние на ширину раскрытия трещин оказывает пролет среза. С увеличением величины пролета среза ширина и интенсивность раскрытия трещин растет. Эффект влияния пролета среза практически в 10 раз превышает влияние других.

Особый интерес представляет информация о взаимном влиянии величины пролета среза с другими переменными. Наиболее существенным, оказалось, по количественному показателю взаимодействие пролета среза с коэффициентом продольного армирования.

Для уменьшения ширины раскрытия наклонных трещин с увеличением величины пролета среза требуется увеличение коэффициента продольного армирования. В исследуемых пределах из всех включенных факторов только  $\mu_s$  показал наличие оптимального значения.



Анализ априорной информации и полученных автором результатов показал, что коэффициент продольного армирования не может раскрыть картину развития наклонной трещины. Более целесообразно, очевидно, было бы оценивать насыщение растянутой зоны продольной арматурой.

С увеличением прочности бетона ширина раскрытия трещин при прочих равных условиях увеличивается. Степень влияния прочности бетона на ширину раскрытия трещин существенно зависит от коэффициента асимметрии цикла, с увеличением которого при повышении класса бетона, ширина трещины возрастает.

На рисунке 1 даны плоскости, описывающие изменение характера ширины раскрытия наклонных трещин от коэффициента продольного армирования и прочности бетона в зависимости от количества циклов, при фиксированных значениях коэффициента асимметрии цикла повторной нагрузки  $\rho_a=0,33$ . Поверхность (1) построена при пролете среза  $2,86 h_0$ , поверхность (2) при пролете среза  $2,0 h_0$  и плоскость (3) - при  $1,14 h_0$ .

На рисунке 2 описано характер изменения плоскости, характеризующий ширину раскрытия трещины при изменении пролета среза и коэффициента асимметрии цикла при постоянной прочности бетона  $R_b=21$  МПа и фиксированных значениях коэффициента продольного армирования:

$$1 - \mu_s=0,023; 2 - \mu_s=0,018; 3 - \mu_s=0,013.$$

На рисунке 3 приведены плоскости, описывающие ширину раскрытия наклонных трещин в зависимости от пролета среза ( $a/h_0$ ) и коэффициента асимметрии цикла повторной нагрузки ( $\rho_a$ ) при прочности бетона:

$$1 - R_b=17 \text{ МПа}; 2 - R_b=21 \text{ МПа}; 3 - R_b=25 \text{ МПа}.$$

В заключение следует отметить, что для решения задач по оценке напряженно-деформированного состояния целесообразно использование математического моделирования, которое дает четкие оценки количественного влияния отдельных факторов и их взаимодействия.

### **Выводы:**

Наиболее существенное влияние на ширину раскрытия наклонной трещины оказывает величина пролета среза. С увеличением величины пролета среза ширина и интенсивность раскрытия наклонных трещин растет. Эффект влияния пролета среза в 10 раз превышает влияние других факторов.



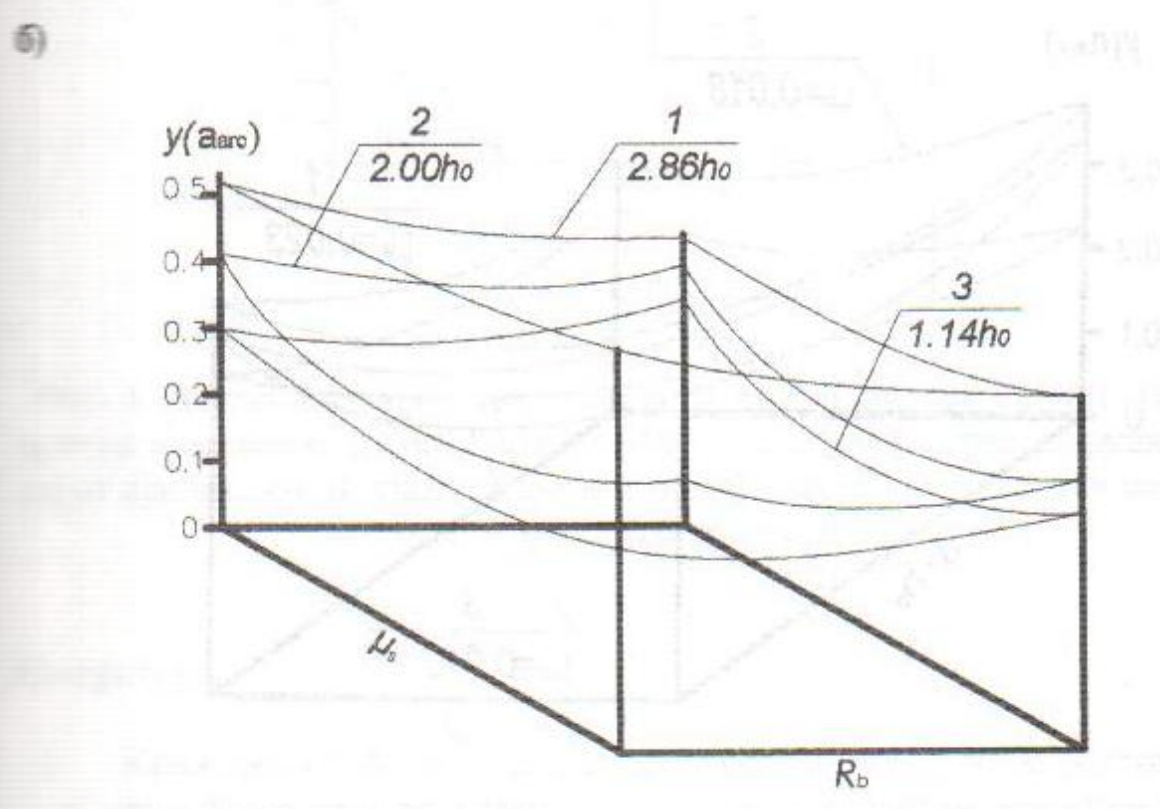
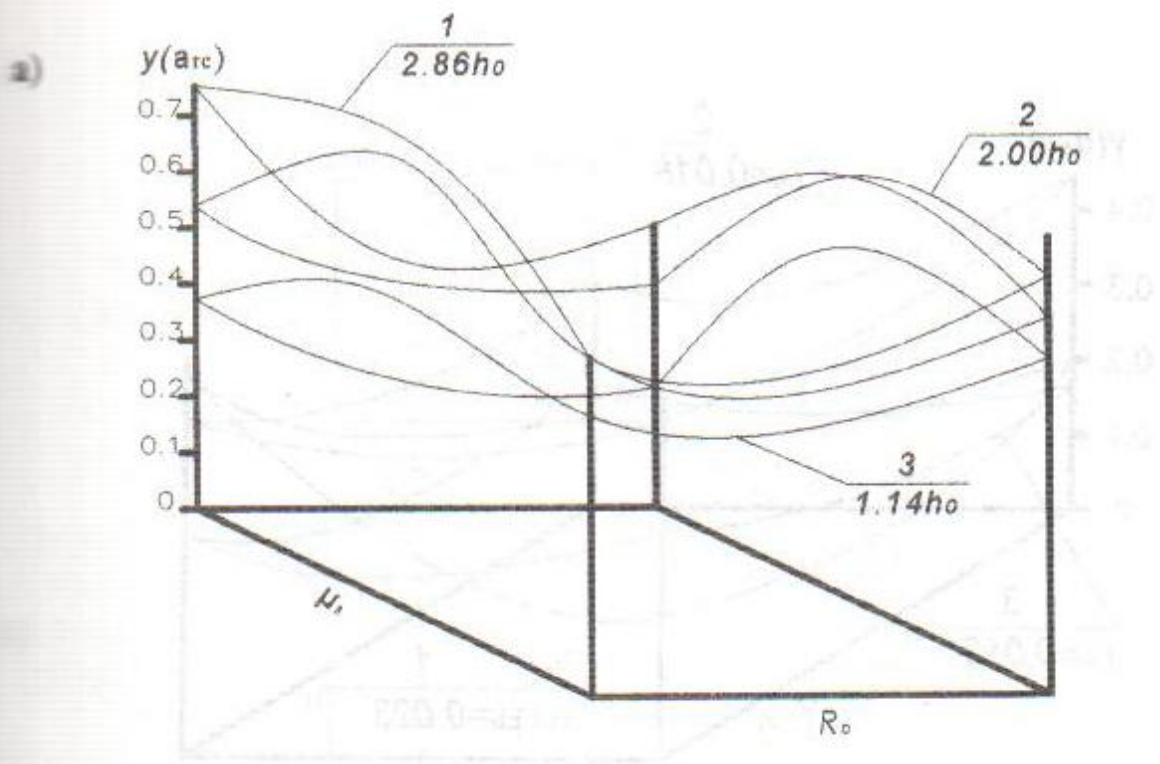
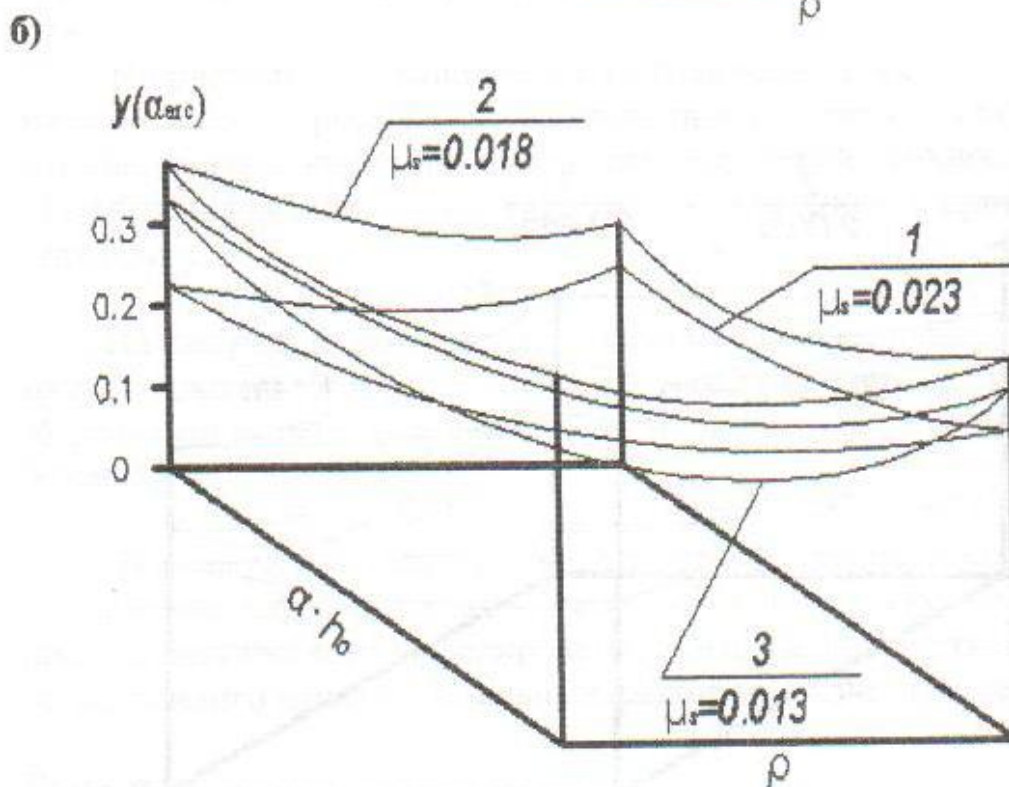
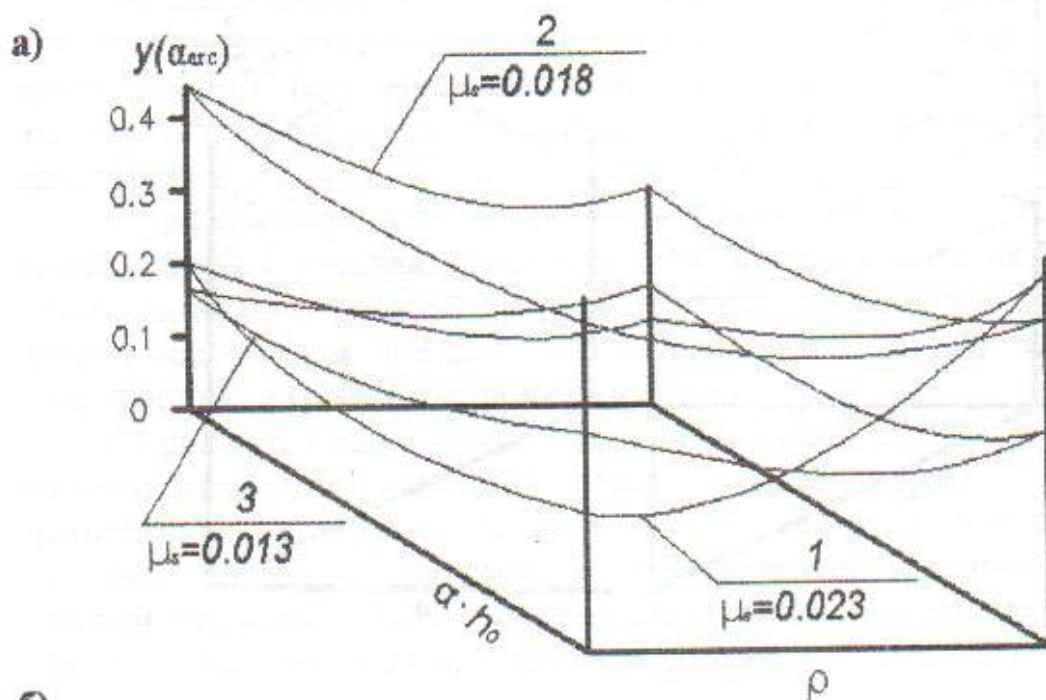


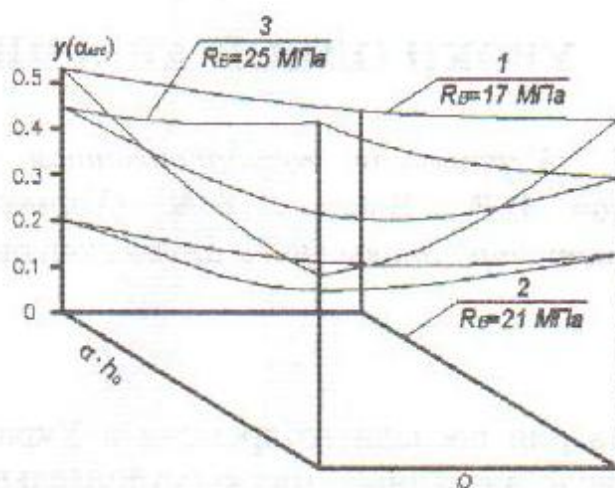
Рис. I. Изменение плоскостей, описывающих ширину раскрытия наклонных трещин при  $N=1 \cdot 10^3$  циклов (а) и перед разрушением (б) в зависимости от коэффициента продольного армирования и прочности бетона.



**Рис. 2.** Изменение характера плоскости, описывающей ширину раскрытия наклонных трещин при  $N=1 \cdot 10^3$  циклов (а) и перед разрушением (б) в зависимости от пролета среза и коэффициента асимметрии цикла повторной нагрузки при  $R_b=21$  МПа



a)



б)

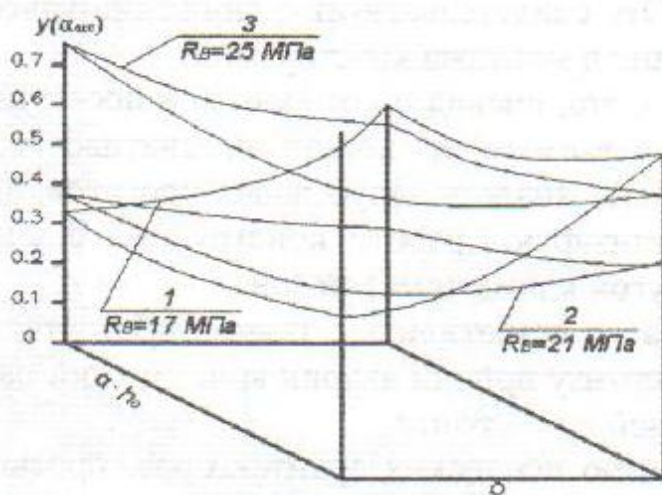


Рис. 3. Изменение характера плоскости, описывающей ширину раскрытия наклонных трещин при  $N=1 \cdot 10^3$  циклов (а) и перед разрушением от пролета среза в зависимости и коэффициента асимметрии цикла повторной нагрузки при  $\mu_s=0,023$

#### Литература:

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