

**К ОПРЕДЕЛЕНИЮ НАПРЯЖЕНИЙ В ПРОДОЛЬНОЙ
АРМАТУРЕ ИЗГИБАЕМЫХ
КЕРАМЗИТОЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
В УСЛОВИЯХ МАЛОЦИКЛОВОГО ЗАГРУЖЕНИЯ.**

СЕМЕНЮК С.Д., КУЗЬМИНА А.А.
Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Большая часть исследований в странах СНГ и за рубежом посвящена работе железобетонных конструкций при статических и динамических нагружениях. На сегодняшний день не изучены и не систематизированы результаты экспериментальных и теоретических исследований по оценке прочности и деформативности изгибаемых керамзитожелезобетонных элементов при малоцикловом нагружении, что особо важно для Республики Беларусь.

В настоящее время расчет железобетонных конструкций на прочность, трещиностойкость и деформативность производят без учета их малоциклового нагружения, в том числе и изгибаемых керамзитожелезобетонных элементов. Если при расчете железобетонных конструкций реализация современных расчетных моделей име-

ет достаточное обоснование, то разработка расчетных положений для изгибаемых керамзитожелезобетонных элементов при малоцикловом воздействии недостаточна и требует дополнительных экспериментальных и теоретических исследований.

В этой связи актуальной представляется работа по исследованию прочностных и деформативных характеристик изгибаемых керамзитожелезобетонных элементов. Планируется провести 5 серий экспериментальных исследований, по 6 балок в каждой серии с размерами поперечного сечения 100×150 мм длиной 1400 мм, а также кубы с размером ребра 150 мм и 100 мм, цилиндры диаметром 150 мм высотой 300 мм и призмы размером $150 \times 150 \times 600$ мм.

Программа испытаний разработана таким образом, чтобы разработать модель работы конструкции в реальных условиях.

1. воздействие нагрузок среднего уровня (0,6–0,7)
2. воздействие нагрузок высокого уровня (0,8–0,85)
3. изменение уровня нагрузки со среднего на высокий (с 0,6–0,7 до 0,8–0,85)
4. внезапное скачкообразное изменение уровня нагрузки на более высокий с последующим возвращением к эксплуатационному уровню (0,6–0,7 случайный скачок на одном из циклов нагружения до 0,9).

Малоцикловая нагрузка прилагается на протяжении 10 циклов с доведением до разрушения на 11 цикле (рис. 1).

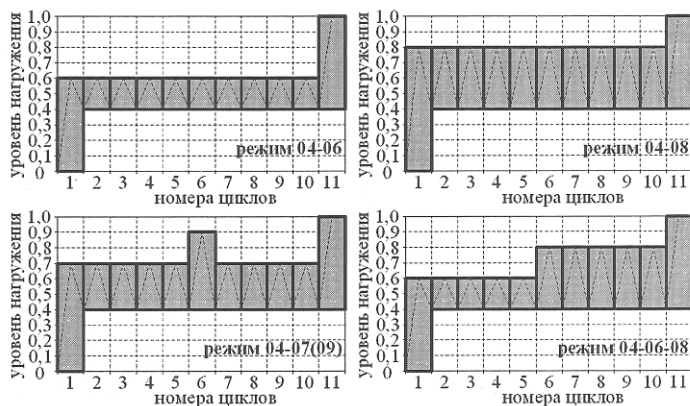


Рис. 1. Режимы приложения малоцикловой нагрузки к опытным образцам.

Режимы приложения малоцикловой нагрузки при испытаниях призм, цилиндров балок одинаковы и отражают реальную работу конструкций при эксплуатации.

Для определения напряжений в продольной растянутой арматуре при малоцикловом нагружении рассмотрим два случая – нижний и верхний уровни загрузки. Для нижнего уровня загрузки эпюра сжатой зоны имеет вид треугольника, для верхнего в виде прямоугольной трапеции. Сначала испытывают цилиндры по такой же методике, как и призмы $150 \times 150 \times 600$. При уровне загрузки $\eta_c = 0,4$ по И-1 фиксируем деформации крайних сжатых фибр испытываемой балки и отмечаем нагрузку P , прикладываемую к балке, то есть нижний уровень загрузки. Деформативные характеристики керамзитобетонных цилиндров определяем согласно патента на полезную модель №11289 «Устройства для определения деформативных характеристик в бетонных цилиндрах». Общий вид устройства с элементами крепления и индикаторами часового типа ИЧ-1, с ценой деления $0,001$ мм, размещенными на устройстве, приведен на рис. 2.

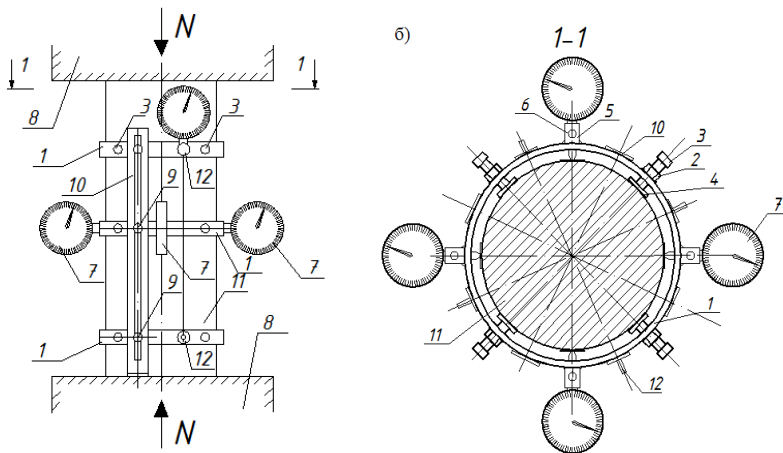


Рис. 2. Устройство для определения деформативных характеристик в бетонных цилиндрах:
а – вид сбоку; б – разрез 1-1

Испытания призм $150 \times 150 \times 600$ мм на кратковременное центральное сжатие проводилось в полном соответствии с требованиями ГОСТ 24452-80*. При малоцикловом нагружении режимы приложения нагрузки к призмам приняты такие же, как и для цилиндров и балок.

В маркировке опытных образцов указаны максимальный нижний и верхний уровни малоциклового нагружения. Разделитель разрядов условно не показан. Например, при маркировке режима нагружения «0,4–0,8», нижний уровень нагружения $\eta_{\text{low}} \approx 0,4 f_{\text{cm}}$, верхний уровень нагружения $\eta_{\text{top}} \approx 0,8 f_{\text{cm}}$.

Рассмотрим испытание балки длиной $l=1,4$ м, армированной двумя каркасами с рабочей арматурой $\varnothing 10$ мм и размерами сечения $b \times h = 10 \times 15$ см. Загружение производим по схеме на рис.3.

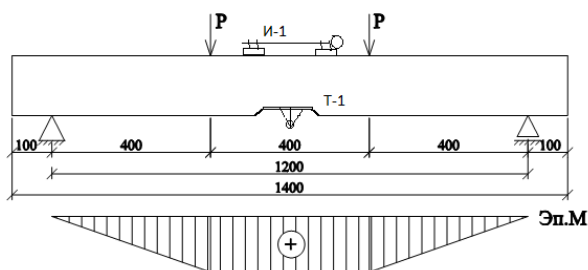


Рис.3. Схема нагружения балки

Упругая стадия работы изгибаемого керамзитожелезобетонного элемента.

Режим нагружения балки малоцикловым воздействием следующий.

Балку от «0» при снятии всех отсчетов нагружаем ступенями, равными 10 % от разрушающей нагрузки, далее последуют 2-я, 3-я и т. д. ступени нагружения до момента, когда деформации крайних сжатых фибр достигнут значений, соответствующих уровню напряжений $\eta = 0,4$.

Это напряжение соответствует нижнему пределу микротрещинообразования и по нему фиксируем нагрузку P_1 . Величину деформаций сжатой грани балки принимаем такой же как при испытании бетонных призм (цилиндров) при их обработке статистическим методом с использованием линейно-корреляционного анализа.

При помощи тензометра Гугенбергера фиксируем деформации продольной растянутой арматуры и напряжения $\sigma_s = \varepsilon_s E_s$. Также при помощи тензорезисторов, наклеенных диаметрально противоположно на арматурных стержнях, фиксируем деформации и напряжения.

В диапазоне работы бетона от 0 до нижнего предела микротрещинообразования считаем, что керамзитожелезобетонный элемент находится в упругой стадии напряженно-деформированного состояния. Поэтому эпюру напряжений в сжатой зоне балки принимаем в виде треугольника (рис. 4.)

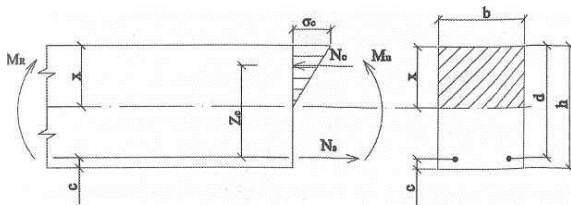


Рис. 4. К определению высоты сжатой зоны балки в упругой стадии работы

В соответствии с рис. 2. имеем

$$N_s = N_c; A_s \cdot \sigma_s = 0,5 \sigma_c \cdot b \cdot x; Z_c = d - \frac{x}{3},$$

$$M_u = M_s = M_c = P \cdot a = A_s \cdot \sigma_s \cdot Z_c = 0,5 \sigma_c \cdot x \cdot b \cdot \left(d - \frac{x}{3}\right)$$

$$M_u = 0,5 \sigma_c \cdot x \cdot b \cdot d - 0,165 \sigma_c \cdot x^2 \cdot b$$

К примеру, имеем бетон класса CL10/12,5 и $b = 10$ см; $d = 12,5$ см; $A_s = 1,57$ см²; $c = 2,5$ см; $a_c = 40$ кгс/см², подставляем значения известных параметров в уравнение:

$$0,165 \cdot 40 \cdot 10 \cdot x^2 - 0,5 \cdot 40 \cdot 10 \cdot 12,5 x + 40 \cdot P = 0$$

Разделив левую и правую часть этого уравнения на 40 получим:

$$1,65 x^2 - 62,5 x + P = 0$$

Решая это квадратное уравнение, находим высоту сжатой зоны керамзитобетона «х», после чего подставляя в формулу:

$P \cdot a = A_s \sigma_s (d - 0,33x)$, значение « x », вычисляем σ_s

$40P = 1,57 \cdot \sigma_s (12,5 - 0,33x)$;

$40P = 19,625\sigma_s - 0,5214x \cdot \sigma_s$ решая уравнение, вычисляем σ_s

Каждому циклу нагружения балки при $\eta = 0 - 0,4$ будет определенное σ_s , которое впоследствии является ориентиром при испытании контрольных образцов арматуры подверженных малоцикловому нагружению.

Значения опытных и теоретических σ_s сравниваем, а также ведем сравнение характеристик $\sigma_s - \epsilon_s$ для образцов, подвергнутых однократному нагружению и характеристик $\sigma_{s \text{ цикл}} - \epsilon_{s \text{ цикл}}$ для образцов арматуры, в которых балки подвергнуты малоцикловому нагружению.

Рассмотрим упруго-пластическую стадию работы изгибаемого керамзитожелезобетонного элемента.

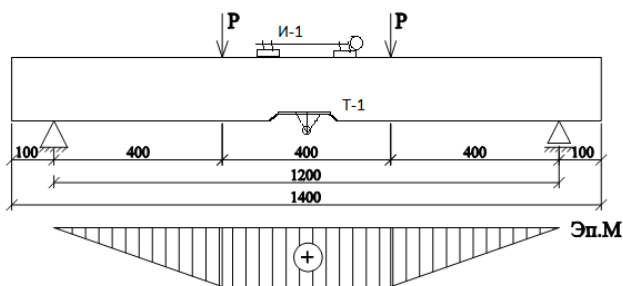


Рис.5. Схема нагружения балки

Режим нагружения балки малоцикловым воздействием следующий.

Балку от «0» при снятии всех отсчетов загружаем ступенями, равными 10% от разрушающей нагрузки, далее последуют 2-я, 3-я и т.д. ступени нагружения до момента, когда деформации крайних сжатых фибр достигнут значений, соответствующих напряжению 4 МПа (40кгс/см²) (фиксируем нагрузку P_1). Затем следуют 5-я, 6-я, 7-я, 8-я ступени нагружения до момента, когда деформации сжатой грани балки достигнут значения, соответствующего напряжению 8 МПа (80кгс/см²) (фиксируем нагрузку на балку P_2).

Эти значения берем из испытанных бетонных призм и их обработки статистическим методом. При помощи тензомера Гугенберга фиксируем деформации продольной растянутой арматуры, а, следовательно, и напряжения $\sigma_s = \varepsilon_s \cdot E_s$. Также при помощи тензорезисторов, наклеенных диаметрально противоположно на арматурных стержнях, фиксируем деформации и напряжения. После этого сбрасываем нагрузку до значения P_1 , снимаем показания по всем приборам и записываем в ведомость испытаний. Затем поднимаем нагрузку до значения P_2 , снимаем показания по всем приборам и записываем в ведомость.

Таких циклов будет 10. На 11-м цикле при подъеме нагрузки до разрушающей с начала отсчета при уровне 0,85; 0,90; 0,95 и если удастся, то при $\eta = 1$ ($\eta = P_i / P_{разр}$). После испытания призм и цилиндров при малоцикловом нагружении ($n=10-11$) испытываем балки с 10-11 циклами, при этом нижний уровень загрузения $\eta_{нижн} = 0,4$, верхний – $\eta_{верх} = 0,8$.

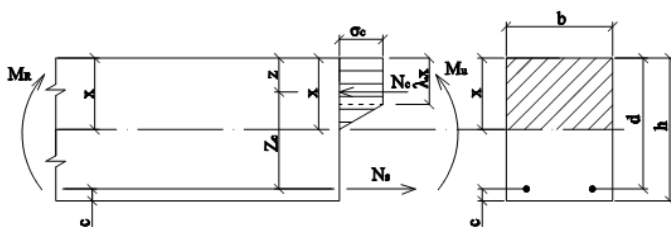


Рис.6. Определение высоты сжатой зоны в упруго-пластической стадии

В соответствии с рис.4 записываем:

$$N_s = N_c; A_s \cdot \sigma_s = 0,5 \sigma_c \cdot b \cdot x; Z_c = d - x \cdot \frac{\lambda^2 + \lambda + 1}{3(\lambda + 1)}, \lambda = 0,93 - 0,014 f_{cd}.$$

$$\begin{aligned} M_u = M_s = M_c = P \cdot a = A_s \cdot \sigma_s \cdot Z_c = \\ = 0,5 \sigma_c \cdot x(1 + \lambda) \cdot b(d - x) \cdot \frac{\lambda^2 + \lambda + 1}{3(\lambda + 1)} \end{aligned}$$

Известны: M_s ; σ_c ; b ; A_s ; d ; c . Найти: x ; σ_s .

$$M_u = 0,5 \sigma_c \cdot x(1 + \lambda) \cdot b \cdot d - 0,5 \sigma_c \cdot x^2(1 + \lambda) \cdot b \cdot \frac{\lambda^2 + \lambda + 1}{3(\lambda + 1)}$$

$$0,165\sigma_c \cdot b (\lambda^2 + \lambda + 1) \cdot x^2 - 0,5\sigma_c \cdot b \cdot d(1 + \lambda) \cdot x + M_u = 0$$

Так как имеем бетон класса CL 16/20 и $b=10\text{см}$; $d=12,5\text{см}$; $A_s=1,57\text{см}^2$; $c=2,5\text{см}$; $\sigma_c=80\text{кгс/см}^2=8,0\text{МПа}$, вычисляем:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{16}{1,5} = 10,67 \text{ МПа}, \lambda = 0,93 - 0,014 \cdot 10,67 = 0,781.$$

Подставляем значения известных параметров в уравнение:

$$0,165 \cdot 80 \cdot 10 (0,781^2 + 0,781 + 1) \cdot x^2 - 0,5 \cdot 80 \cdot 10 \cdot 12,5 (1 + 0,781) \cdot x + 40P = 0$$

$$7,89 x^2 - 222,625x + P = 0.$$

Находим высоту сжатой зоны керамзитобетона «х», после чего подставляя в формулу: $P \cdot a = A_s \cdot \sigma_s \cdot Z_c$ значение «х», вычисляем σ_s :

$$40P = 1,57 \cdot \sigma_s (12,5 - x) \cdot \frac{0,781^2 + 0,781 + 1}{3(0,781 + 1)}$$

$40P = 19,625\sigma_s - 0,4475x \cdot \sigma_s$ — «х» найден, решая уравнение находим σ_s .

Найдя теоретически σ_s при $\eta=0,4$ и σ_s при $\eta=0,8$ проводятся испытания образцов арматуры при циклическом нагружении со снятием отсчетов при деформациях при каждом цикле и каждой ступени.

Полученные опытные и теоретические σ_s сравниваем, а также ведем сравнение характеристик $\sigma_s - \varepsilon_s$ для образцов, подвергнутых однократному нагружению и характеристик $\sigma_{s \text{ цикл}} - \varepsilon_{s \text{ цикл}}$ для образцов арматуры, в которых балки подвергнуты малоцикловому нагружению.

Представленная программа экспериментальных исследований позволяет моделировать работу керамзитожелезобетонных элементов в реальных условиях, когда нижний уровень нагружения остается постоянным верхний от изменяется эксплуатационного до критического, обеспечивается необходимая достоверность полученных результатов. Представленная краткая программа и методика испытаний опытных призм и цилиндров позволит на основе экспериментальных данных получить диаграммы деформирования бетона при статическом нагружении и трансформированные диаграммы деформирования бетона при малоцикловом нагружении. Методика

испытаний арматуры позволяет получить диаграммы деформирования при монотонно возрастающей многократном нагружении и трансформированные диаграммы деформирования стали при малоцикловых нагрузках, а также выявить явление упрочнения арматурных стержней, т.е. проанализировать явление наклепа. Предлагаемая программа и методика испытания опытных балок позволит на базе результата экспериментальных исследований учесть влияние на прочность, жесткость и деформативность режима нагружения и малоциклового характер нагрузки в предистории нагружения.