

УДК 624.012.25:539.386

**НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАННИЙ СТАН В ПРИОПОРНІЙ ЗОНІ  
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК ПРИ ДІЇ СТАТИЧНОГО  
НАВАНТАЖЕННЯ**

**НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ В  
ПРИОПОРНОЙ ЗОНЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ПРИ ДЕЙСТВИИ  
СТАТИЧЕСКИХ НАГРУЖЕНИЙ**

**THE STRESS-STRAIN STATE IN SUPPORT ZONE OF REINFORCED  
CONCRETE BEAMS UNDER STATIC LOADS**

**Кушнарѡва Г. О., к.т.н., доцент, Фадієнко В. І., студ. гр. 205 ПЕС  
(Одеська державна академія будівництва та архітектури, м.Одеса)**

**Кушнарєва Г. А., к.т.н., доцент, Фадиєнко В. И., студ. гр. 205 ИИЭС  
(Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)**

**Kushnareva G. A., candidate of technical sciences, docent, Fadienko V. I.,  
student group 205 Engineering Institute of Environmental Systems (Odessa  
State Academy of Building and Architecture, Odessa)**

Досліджено вплив статичних навантажень на напружено-деформований стан похилих перерізів залізобетонних балок на вапняковому піску. Найбільший вплив на зміну деформацій має величина прольоту зрізу, що приводить до зміни епюр напружень.

Исследовано влияние статических нагружений на напряженно-деформированное состояние наклонных сечений железобетонных балок на известняковом песке. Наибольшее воздействие на изменение деформаций оказывает величина пролета среза, что приводит к изменению эпюр напряжений.

The influence of static loads on the stress-strain state of inclined section of reinforced concrete blocks on limestone sand is studied. The value of slice span has the greatest influence on the change of deformation and result on change of stress diagram.

**Ключевые слова:**

Бетон, балки, перерізи, напруження  
Бетон, балки, сечения, напряжение  
Concrete, beams, sections, stress

**Введение.** Многие детали машин и элементы конструкций подвергаются длительному действию повторно-переменных (или циклических) нагрузок, т.е. нагрузок, многократно периодически изменяющихся от максимального до минимального значения.

Сопротивление материалов таким нагрузкам существенно отличается от сопротивления их статическим нагрузкам, а именно тем, что разрушение может произойти при напряжениях, которые меньше не только предела прочности, но даже предела упругости.

**Состояние вопроса и задачи исследования.** Необходимость в методах расчета выносливости наклонного сечения железобетонных балок, выполненных из местных материалов, в настоящее время ощущается все сильнее и сильнее. Это связано с широким развитием железобетонных конструкций, включающих различные виды бетонов и арматуры. Уточнение различных зависимостей с помощью эмпирических поправок, учитывающих те или иные особенности конструкций является нецелесообразным и малоперспективным в силу большого числа факторов, влияющих на сопротивление изгибаемых элементов действию поперечной силы.

Это обстоятельство вызывает необходимость более углубленного теоретического и экспериментального изучения работы железобетонных конструкций в зоне действия поперечных сил, работающих под воздействием многократно повторяющихся нагрузок.

**Методика исследований.** В лаборатории железобетонных конструкций ОГАСА проведен комплекс исследований по влиянию величины пролета среза, прочности бетона, коэффициента продольного армирования и коэффициента асимметрии цикла на несущую способность железобетонных балок на известковом песке при действии циклических нагрузок. В соответствии с выбранным планом Бокса – Бенкина изготовлены и испытаны 54 балки [1]. Балки были запроектированы так, чтобы предотвратить их преждевременное разрушение по нормальным сечениям и нарушение анкеровки продольных стержней арматуры. Изготовлены балки из бетонов на известковом песке. Возраст бетона опытных образцов составил от 9 до 12 месяцев. Этим исключалось влияние усадки бетона на прочностные характеристики бетона и напряжённое состояние испытываемых образцов. Железобетонные балки армированы двумя плоскими каркасами с продольной рабочей арматурой класса А-III.

Для установления общих закономерностей напряженно-деформированного состояния, определения напряжений в приопорной зоне опытных балок производили измерения деформаций бетона.

Оценку напряженного состояния железобетонных элементов в пролете среза при действии многократно повторяющихся нагрузок подразделяют на два этапа:

-на первом этапе определяются напряжения, возникающие при первичном статическом нагружении, когда они достигают значения равного максимальному уровню циклической нагрузки;

-на втором этапе — при действии многократно повторяющихся нагрузок.

**Результаты исследований.** На основании экспериментально-теоретических исследований на напряженное состояние в элементе при действии статических нагрузений перед образованием наклонных трещин, оказывает влияние наличие нормальных трещин, работа растянутого бетона над трещиной, неупругие деформации и нарушение передачи усилий с бетона на арматуру.

С образованием нормальных трещин нарушается однородность напряженно-деформированного состояния бетона по длине пролета среза. В нормальных сечениях с трещиной и между трещинами напряженно-деформированное состояние отличается друг от друга.

В сечениях между трещинами по высоте нормальных сечений деформации распределяются по линейному закону с максимальными значениями у сжатой и растянутой граней, а по длине элемента в соответствии с эпюрой изгибающих моментов. В сечениях с трещиной деформации распределяются тоже по линейному закону, но только до вершины нормальной трещины в растянутой зоне. Деформации сдвига сосредотачиваются на нетреснувшей части бетона с максимумом примерно в середине этой зоны. Вблизи вершины трещины деформации сдвига резко возрастают.

В растянутой зоне нормальных сечений над вершиной трещины и между трещинами зависимость между напряжениями и деформациями с увеличением нагрузки становится нелинейной, эпюры напряжений приобретают криволинейную форму, напряжения возрастают, приближаясь к предельным. Это приводит к развитию и появлению новых нормальных трещин.

Образование и появление наклонных трещин приводит к существенному изменению деформаций в пролете среза. При этом происходит перераспределение деформаций бетона по высоте и длине элемента, наиболее значительное вблизи критической трещины. Деформации сжатия сосредотачиваются вблизи вершины критической наклонной трещины, а по мере направления к опоре резко уменьшаются.

В соответствии с эпюрой деформаций изменяются и эпюры напряжений в бетоне. Максимальные сжимающие напряжения действуют в нормальных сечениях, проходящих вблизи критической наклонной трещины. Над вершиной трещины эпюра напряжений имеет криволинейное очертание.

Для части сечения, расположенной ниже наклонной трещины, справедлив линейный закон распределения напряжений по высоте сечения. С образованием наклонных трещин происходит перераспределение деформаций сдвига в нормальных сечениях. Максимум деформаций

смещается к вершине критической наклонной трещины. В верхней грани балки деформации сдвига уменьшаются до нуля. В промежуточных сечениях между силой и опорой распределение деформаций сдвига описывается более пологой кривой с нулевыми значениями в верхней части сечения.

Оценка напряженно-деформированного состояния в пролете среза выполнялось с использованием планированного эксперимента.

Параметрами выхода являются числовые значения статических моделей  $Y$ , которые отражают влияние факторов на изменения нормальных и касательных напряжений в бетоне над наклонной трещиной при  $V_{\max}$  ( $\bar{\sigma}_{c,1}$ ,  $\tau_{c,1}$ ).

Ниже приведены статические модели:

$$\bar{Y}_1(\sigma_{c,1}) = 9,57 + 5,23X_1 - 1,17X_3 + 1,03X_1^2 - 2,23X_2^2 + 0,08X_3^2 + 0,78X_4^2 - 0,25X_1 \cdot X_2 + 1,47X_1 \cdot X_3 + 0,15X_2 \cdot X_4 + 0,3X_3 \cdot X_2 \quad (1)$$

$$\bar{Y}_2(\tau_{c,1}) = 4,77 + 1,17X_1 - 0,44X_2 - 0,42X_3 + 0,05X_4 - 0,14X_1^2 - 0,83X_2^2 - 0,88X_3^2 - 0,15X_4^2 - 0,28X_1 \cdot X_2 - 0,12X_2 \cdot X_3 - 0,03X_2 \cdot X_4 + 0,05X_3 \cdot X_4 \quad (2)$$

Анализируя уравнения (1) можно заключить, что при статическом нагружении до  $V_{\max}$  на величину нормальных напряжений в бетоне над наклонной трещиной ( $\bar{\sigma}_{c,1}$ ) наиболее значительное воздействие оказывает величина пролета среза. При увеличении пролета среза от 1,14  $h_0$  до 2,86  $h_0$ , нормальные напряжения возрастают к своим средним значениям на 35%. Наличие квадратичных эффектов свидетельствуют о затухающем характере за пределами варьирования, за исключением пролета среза.

Рассматривая уравнение (2) приходим к выводу, что касательные напряжения в бетоне над наклонной трещиной растут по сравнению со средними значениями на 22%. Зависимости нормальных и касательных напряжений в бетоне над наклонной трещиной от исследуемых факторов представлены на рис. 1 и 2.

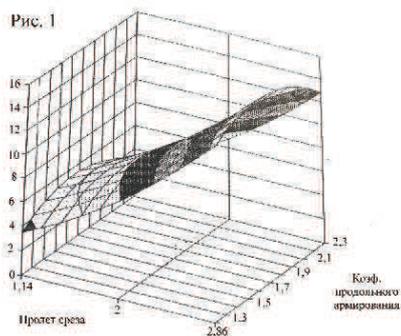


Рис. 1. Нормальные напряжения в бетоне выше наклонной трещины при статическом нагружении,  $R_b=17\text{МПа}$

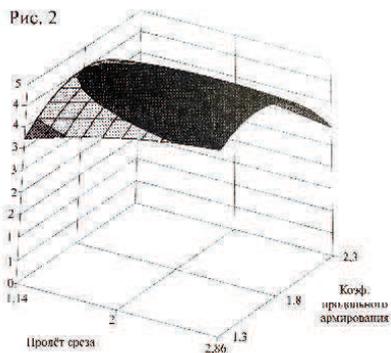


Рис. 2. Касательные напряжения в бетоне выше наклонной трещины при статическом нагружении,  $R_b=17\text{Мпа}$

**Выводы.** При действии статических нагружений до максимальной  $V_{\max}$ :

1. После образования критической наклонной трещины поперечную силу воспринимают бетон сжатой зоны; хомуты, пересекающие наклонную трещину за счет зацементации берегов наклонной трещины.

2. Эпюру нормальных напряжений  $\sigma$  в бетоне в нормальном сечении, проходящем через вершину наклонной трещины, можно принять трапециевидной.

3. В пределах рабочей высоты нормального сечения железобетонных балок с поперечной арматурой касательное напряжение распределяется в виде параболы.

4. В продольной арматуре в месте пересечения её наклонной трещиной кроме осевого усилия растяжения, возникает также изгибающий момент и нагельные силы.

5. При изменении факторов нормальные напряжения в бетоне над наклонной трещиной при действии статической нагрузки до  $V_{\max}$  увеличились на 35%, а касательные напряжения выросли на 22%.

1. Несущая способность и расчет железобетонных балок на известняковом песке наклонных сечений при действии многократно повторяющихся нагрузок. Кушнарева Г.А., автореферат диссертации кандидата технических наук. Одесса, 1991., с. 16.