

УДК 624.072.2

**АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
КОРОТКИХ БАЛОК ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ИССЛЕДУЕМЫХ ФАКТОРОВ
НА ОСНОВЕ ФИЗИЧЕСКОГО И ЧИСЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА**

Лаврова Ольга Владимировна,

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г.Пенза,*

кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции».

Голиков Алексей Алексеевич,

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г.Пенза,*

студент,

Очкин Игорь Анатольевич,

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г.Пенза,*

студент.

Аннотация

В статье представлен материал исследований по оценке характера напряженно-деформированного состояния коротких балок в зависимости от влияния главных факторов, значения которых принимались в ограниченных пределах. Расчет проводился по ППП АПЖБК (программа Лира).

Ключевые слова: короткая балка, напряженно-деформированное состояние, программа Лира.

**ANALYSIS OF THE STRESS-STRAIN STATE OF SHORT BEAMS WITH
CHANGES IN THE STUDIED FACTORS BASED ON PHYSICAL AND
NUMERICAL EXPERIMENT**

Olga Vladimirovna Lavrova,

Penza State University of Architecture and Construction, Penza,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department "Building Structures"

Aleksei Alekseevich Golikov,

*Penza State University of Architecture and Construction, Penza,
Student.*

Ochkin Igor Anatolyevich,

*Penza State University of Architecture and Construction, Penza,
student.*

Abstract

The article presents research material on the assessment of the nature of the stress-strain state of short beams, depending on the influence of the main factors, the values of which were taken within limited limits. The calculation was carried out according to the PAP CDRCS (Lira program).

Keywords: short beam, stress-strain state, Lyra program.

В настоящее время балки, имеющие пролет среза менее 1,5 рассчитываются по аналогии с обычными балками [1] и поэтому нуждаются в дополнительном изучении напряженно-деформированного состояния.

В анализ включены исследования коротких балок, проведенные на основе численного эксперимента [2,3]. Расчетные модели коротких балок, используемые в расчете по ППП АПЖБК (программа Лира), не приводятся. Они аналогичны расчетным схемам балок, приведенным в [2,3]. Из многочисленных эпюр распределения нормальных, касательных и главных напряжений в анализ включены только те, которые выявляют особенности напряженно-деформированного состояния балок.

Рассмотрим особенности напряженно-деформированного состояния коротких балок при изменении пролета среза. Дополнением к ранее известной информации в данном случае является выявление закономерности изменения характера напряженно-деформированного состояния при последовательном

изменении пролета среза a/h_0 от 0 до 1,5. Новыми данными являются влияние пролета среза $a/h_0=0,25$; $a/h_0=0,9-1,1$, а также совместный анализ впервые приведенных в единую систему коротких балок. Наиболее наглядно особенности и закономерности изменения напряженно-деформированного состояния рассматриваемых балок демонстрируют нормальные напряжения σ_y . Линии равных напряжений σ_y , а также линии максимальных напряжений σ_y показаны на рис.1.

По сути, линии одинаковых напряжений σ_y выявляют зоны распространения местных напряжений под опорными и грузовыми площадками. При $a/h_0=0$ линии равных напряжений демонстрируют плавный переход от верхней к нижней зоне местных напряжений.

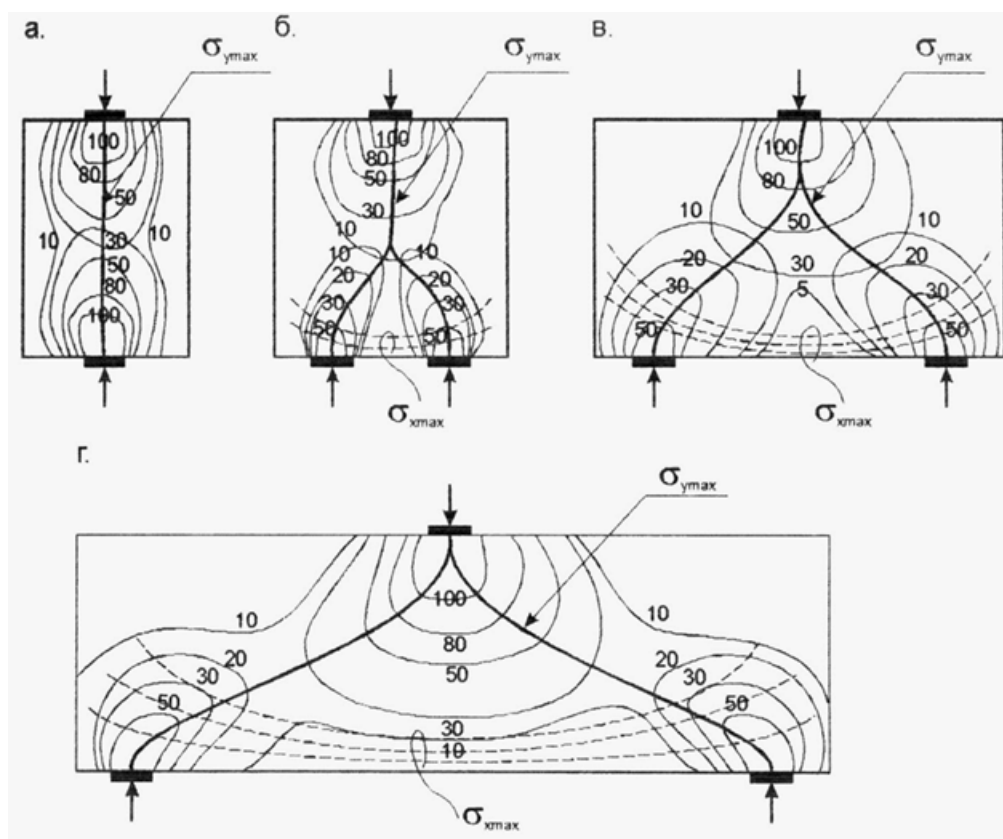


Рисунок 1 - Характер распределения и линии максимальных напряжений σ_y в коротких балках при увеличении пролета среза a/h_0 . а. - $a/h_0=0$; б. - $a/h_0=0,25$; в. - $a/h_0=0,75$; г. - $a/h_0=1,5$.

При этом линия максимальных напряжений имеет строго вертикальный характер, пересекает всю высоту балки от верхней до нижней грани и совпадает

с линией действия силы. При $a/h_0 \leq 0,25$ появляются три зоны местных напряжений под грузовой и опорными площадками. Слияние зон местного действия сил в нижней зоне находится приблизительно на высоте, равной $(0,85-0,8)h$ от верхней грани балки. При $0,25 \leq a/h_0 \leq 0,75$ с удалением опор друг от друга и зон местного действия сил, линии $\sigma_{y,\max}$ меняют очертание и ориентируются на линию действия внешней силы. Особенность заключается в том, что уровень слияния зон местного действия сил над опорными площадками перемещается в сторону верхней грани. При $a/h_0 = 0,75$ уровень слияния зон местного действия сил располагается на высоте $0,5h$. Линии максимальных напряжений σ_y не изменяют своих траекторий. Увеличивается зона растягивающих напряжений (см. рис.1).

С дальнейшим ростом a/h_0 точка пересечения линий максимальных напряжений перемещается вверх, при $a/h_0 = 1,5$ указанная точка располагается на пересечении линии действия внешней силы с верхней гранью балки.

Прослеживается закономерность изменения траекторий линий максимальных напряжений σ_y (рис.2), которая заключается в том, что линии $\sigma_{y,\max}$ последовательно меняют свою траекторию от вертикального положения при $a/h_0 = 0$ к сложной конфигурации - Λ с раздвоением в нижней части при $a/h_0 < 0,25$ и к Λ -образному положению траекторий при дальнейшем росте $a/h_0 \leq 1,5$ за счет перемещения точки пересечения линий $\sigma_{y,\max}$ к верхней грани балки при $0,25 < a/h_0 \leq 1,5$.

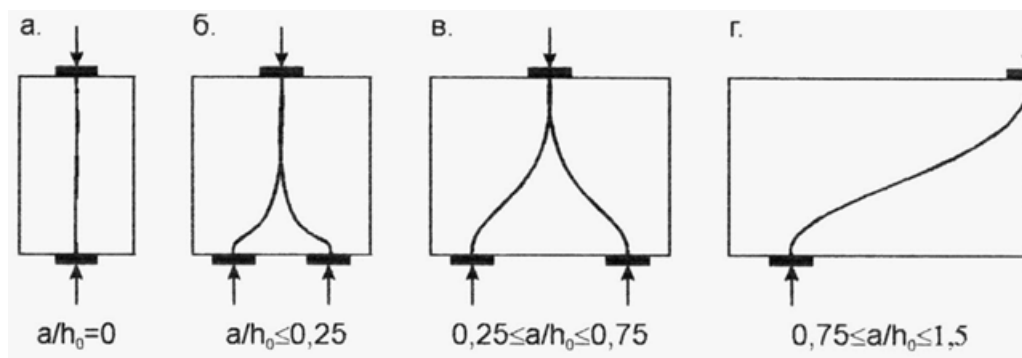


Рисунок 2 - Схема изменения траекторий трещин в коротких балках при увеличении пролета среза a/h_0 .

Можно сделать следующие выводы. Выявлено, что после определяющей роли главных напряжений [2,3] в коротких балках важную роль играют также нормальные напряжения σ_y . Их влияние заключается в повышении сопротивления коротких балок действию сосредоточенных сил в результате сближения зон местного действия сил при $0,3 < a/h_0 < 0,5$. Степень их влияния снижается по мере увеличения пролета среза ($0,5 < a/h_0 < 1,5$).

Закономерность изменения траекторий линий $\sigma_{y,max}$ в зависимости от роста a/h_0 от 0 до 1,5 в полной мере соответствует характеру образования трещин в бетоне коротких балок.

Рассмотрим особенности напряженно-деформированного состояния коротких балок при изменении размеров грузовых $l_{sup,v}$ и опорных $l_{sup,d}$ площадок. В коротких балках с ростом длины грузовых площадок, при $l_{sup,v} \neq l_{sup,d}$ изменяется концентрация траекторий главных сжимающих напряжений. При малых значениях $l_{sup,v} = 4,5 \text{ см} < l_{sup,d} = 10 \text{ см}$ ширина участка, в пределах которого располагаются максимальные сжимающие напряжения, уменьшается под грузовой и увеличивается над опорными площадками. С увеличением длины грузовой площадки от 4,5 см до 10, 20, 30 см и далее до 40 см пропорционально растет ширина расчетной бетонной полосы поверху (рис.3). Новым в изучении данного фактора является изменение величины сжимающих напряжений по длине наклонной полосы бетона. Установлено, что максимальные сжимающие напряжения располагаются в сечениях наклонной полосы в уровне грузовой и опорных площадок.

Можно сделать вывод о том, что увеличение размеров грузовых площадок приводит к смещению сечений с максимальными напряжениями в нижнюю часть балки. С другой стороны, с увеличением размеров грузовых площадок увеличивается зона местного действия сил и повышается сопротивление сжатию в наклонных полосах бетона.

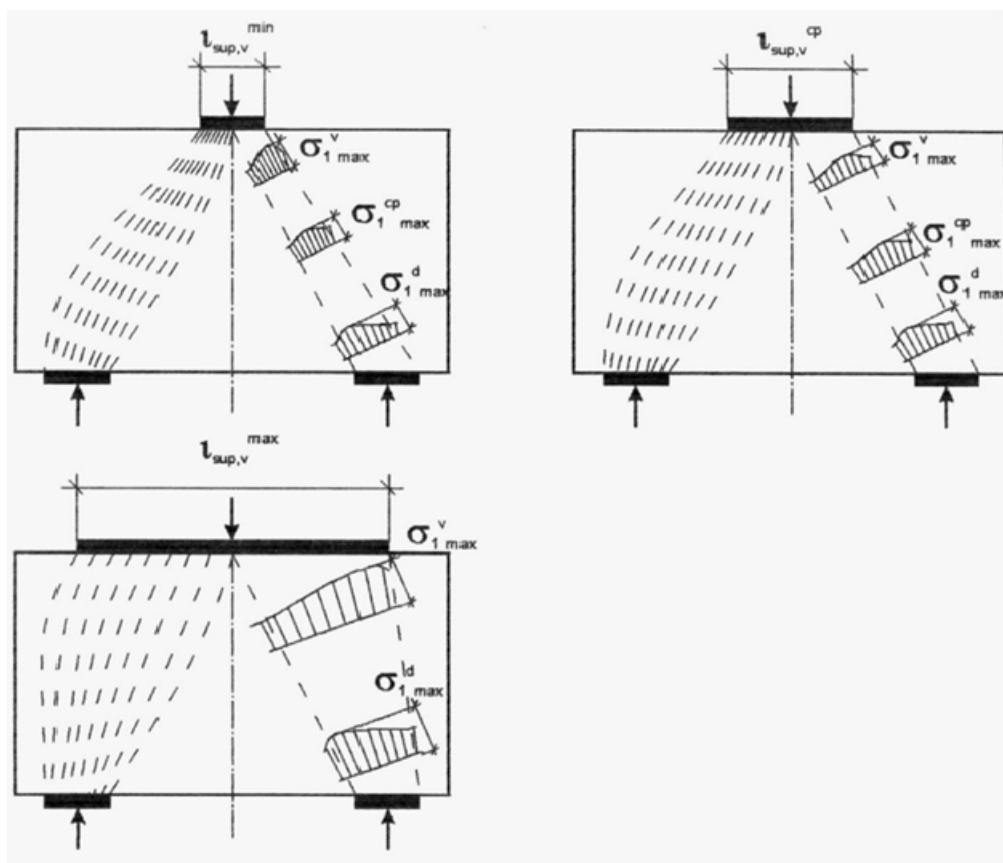


Рисунок 3 - Характер изменения напряженно-деформированного состояния коротких балок при увеличении длины грузовых площадок $l_{sup,v}$.

Рассмотрим особенность напряженно-деформированного состояния коротких балок при одновременном увеличении размеров грузовых и опорных площадок $l_{sup,v}=l_{sup,d}$. Наиболее характерными и менее изученными являются два случая. Первый случай, когда грани грузовой и опорных площадок располагаются на одной вертикальной линии. Второй случай, когда соотношение расстояния между гранями грузовой и опорных площадок и высоты балки является весьма малой величиной, а именно $a_1/h_0 \leq 0,1-0,25$ (рис.4). Первый вид нагружения представляет собой схему, которая часто используется в литературе для демонстрации, условно говоря, чистого среза. Особенностью сопротивления таких балок является характер распределения касательных напряжений, показанный на рис.4. Целесообразно произвести комплексный анализ распределения касательных напряжений как в нормальных, так и в наклонных сечениях при $0 < a/h_0 \leq 1,5$. Указанные сечения

образуются путем соединения граней грузовых и опорных площадок. Анализ показал, что траектория линии максимальных напряжений $\tau_{\max}$ внутри сжатой полосы, независимо от величины пролета среза и размеров грузовых площадок, приближается к диагоналям наклонных полос, образуемых соединением граней грузовых и опорных площадок. Траектории линий максимальных напряжений $\tau_{\max}$, расположенные за пределами сжатой полосы, приближаются к линиям, выделяющим сжатые полосы.

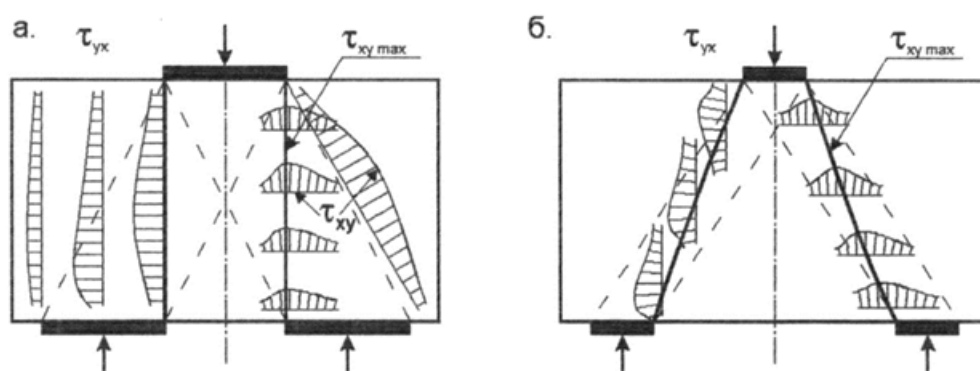


Рисунок 4 - Характер изменения напряженно-деформированного состояния коротких балок при одновременном увеличении длины грузовых $l_{\text{sup},v}$ и опорных $l_{\text{sup},d}$ площадок. а. - $l_{\text{sup},v}=l_{\text{sup},d}=18$ см; б. - $l_{\text{sup},v}=l_{\text{sup},d}=4,5$ см.

Можно сделать вывод о том, что линии максимальных касательных напряжений представляют собой линии среза сжатых наклонных полос бетона, расположенных между грузовыми и опорными площадками, и прогнозируют развитие трещин разрушения. В наклонных сечениях, которые, по сути, образуют контур сжатых наклонных полос бетона, эпюры касательных напряжений и линии $\tau_{\max}$ представляют собой линии сдвига и прогнозируют образование наклонных трещин, выделяющих сжатые полосы бетона.

При изучении влияния прочности бетона на характер распределения напряжений, их концентрацию, а также на траектории линий максимальных напряжений установлено, что принципиальных изменений напряженно-деформированного состояния не происходит.

Рассмотрим особенности напряженно-деформированного состояния коротких балок при изменении процента армирования μ_s .

При увеличении высоты сечения балок h от 30 до 80 см относительный пролет среза и процент армирования уменьшаются, сжимающие $\sigma_{1,\max}$ и растягивающие $\sigma_{2,\max}$ напряжения увеличиваются.

Можно сделать вывод о том, что с ростом процента армирования происходит смена определяющего влияния главных сжимающих и растягивающих напряжений. При $\mu_{s,\min}$ линии $\sigma_{2,\max}$ сосредотачиваются в пределах горизонтального арматурного пояса, расположенного между опорными площадками. Линии $\tau_{xy,\max}$ совпадают с диагоналями наклонных полос бетона. Происходит гармонизация напряженно-деформированного состояния коротких балок с характером образования трещин и схемами разрушения коротких балок.

Библиографический список:

1. СП 63.13330.2018 «СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения».
2. Лаврова О.В. Методика расчета прочности железобетонных коротких балок, усиленных на основе каркасно-стержневой модели // Региональная архитектура и строительство. 2019. № 4. С. 482.
3. Электронный научный журнал «Моделирование и механика конструкций» №16, 2022 г.