

ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК

Шейн А.И.¹, Снежкина О.В.¹, Ладин Р.А.¹, Киселев А.А.¹

¹ ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный университет архитектуры и строительства", Пенза, Россия (440028, Пенза, ул. Титова, 28, ПГУАС), e-mail: o.v.snejkina@yandex.ru

Статья посвящена актуальной проблеме – исследованию работы коротких железобетонных балок при действии поперечных сил. Произведен расчет указанных конструкций, нагруженных одной сосредоточенной силой, численным методом конечных элементов по программе «ЛИРА». Согласно программе исследований пролет среза принимал следующие значения: 0,5; 1,0; 1,5. Задачей проведенных исследований являлось развитие класса коротких балок выявление отличительных особенностей напряженно-деформированного состояния при увеличении пролета среза a/h_0 до 1,5. Выявлены отличительные особенности коротких балок от обычных по характеру распределения нормальных, касательных и главных напряжений. Построены линии максимальных, равных и нулевых напряжений, выявлены зоны концентрации главных напряжений. Полученные результаты выявили особенности напряженно-деформированного состояния коротких железобетонных балок и позволили расширить класс коротких элементов по показателю пролета среза до 1,5.

Ключевые слова: короткие железобетонные балки, напряженно-деформированное состояние

NUMERICAL STUDIES OF THE WORK OF REINFORCED CONCRETE BEAMS

Shein A.I.¹, Snezhkina O.V.¹, Ladin R.A.¹, Kiselev A.A.¹

¹ Penzensky State University of Architecture and Construction, Penza, Russia (440028, Penza, ul. Titova, 28, PSUAC), e-mail: o.v.snejkina@yandex.ru

The article is devoted to an actual problem - research work of short reinforced concrete beams under the action of transverse forces. Calculation of the mentioned structures, downloaded one of concentrated force, by the numerical method of end elements on the program "LIRA". According to the program studies the migration cutoff took the following values: 0,5; 1,0; 1,5. The objective of the conducted research was the development of the class short-beam identify the distinctive features of the stress-strain state at the increase of migration slice a/h_0 to 1.5. Distinctive features are revealed short-beam from the normal to the nature of the normal distribution, tangent and major stresses. Built lines maximum equal to zero stress concentration zones are detected principal stresses. The obtained results revealed the peculiarities of the stress-strain state short reinforced concrete beams and allowed to extend the class of short items in terms of migration cutoff of 1.5.

Keywords: short reinforced concrete beams, stress-strain state

С целью получения более полной информации о напряженно-деформированном состоянии коротких балок с пролетом среза $a/h_0 \leq 1,5$, произведен расчет указанных конструкций численным методом конечных элементов по программе «ЛИРА».

Задачей исследований коротких балок являлось определение напряжений σ_x ; σ_y ; τ_{xy} ; $\sigma_{\text{гл.сж}}$; $\sigma_{\text{гл.р}}$; полей напряжений и угла наклона главных сжимающих и главных растягивающих напряжений при изменении пролета среза [1,2].

Программой исследований предполагалось произвести расчет коротких балок, нагруженных одной сосредоточенной силой, при этом пролет среза принимал следующие значения: 0,5; 1,0; 1,5.

Расчетная схема. Расчетная схема балок представляет собой множество конечных элементов в виде прямоугольных ячеек размером 2,5×2,5 и шириной 25 см. По причине ограничения количества элементов в расчет задействована лишь половина балки. Действие

отброшенной части заменялось наложением горизонтальных связей (рис. 1). Принятая расчетная схема допустима, так как обе части балки работают симметрично относительно линии действия внешней силы. Опорные площадки имитировались приложением вертикальных связей в узлы, соответствующие расчетной модели, а нагрузка, действующая на балку, моделировалась сосредоточенными силами единичной величины в узлах конечных элементов.

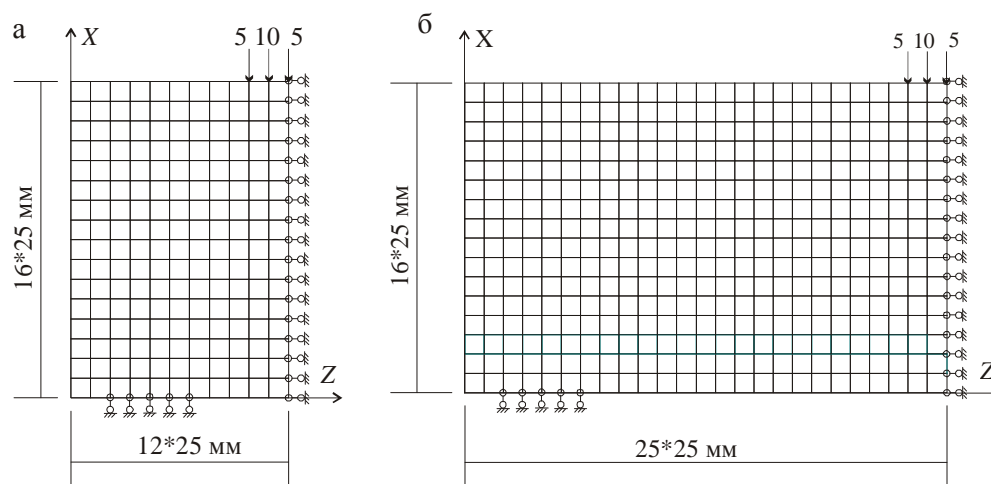


Рис. 1. Расчетная схема балок:

а – $a/h_0=0,5$; б – $a/h_0=1,5$

Результаты расчета. Произведен расчет коротких балок с пролетом среза 0,5; 1,0; 1,5, определена величина и характер распределения: нормальных напряжений – σ_x ; σ_y ; касательных напряжений – τ_{xy} и главных напряжений – σ_1 ; σ_2 .

Для сокращения материала в данной статье рассматриваются и анализируются более подробно результаты расчета для балок с наименьшим пролетом среза $a/h_0=0,5$ и наибольшим $a/h_0=1,5$. Ниже поочередно рассматривается характер распределения перечисленных напряжений.

На рис. 2 показан характер распределения нормальных напряжений σ_x в балках с пролетом среза 0,5 и в балках с $a/h_0=1,5$ (рис. 3). Характерным является то, что в пролете среза эпюры σ_x являются двузначными. Максимальные сжимающие напряжения σ_x располагаются в верхней части балки, максимальные растягивающие напряжения – в нижней части эпюры у нижней грани балки [5,6].

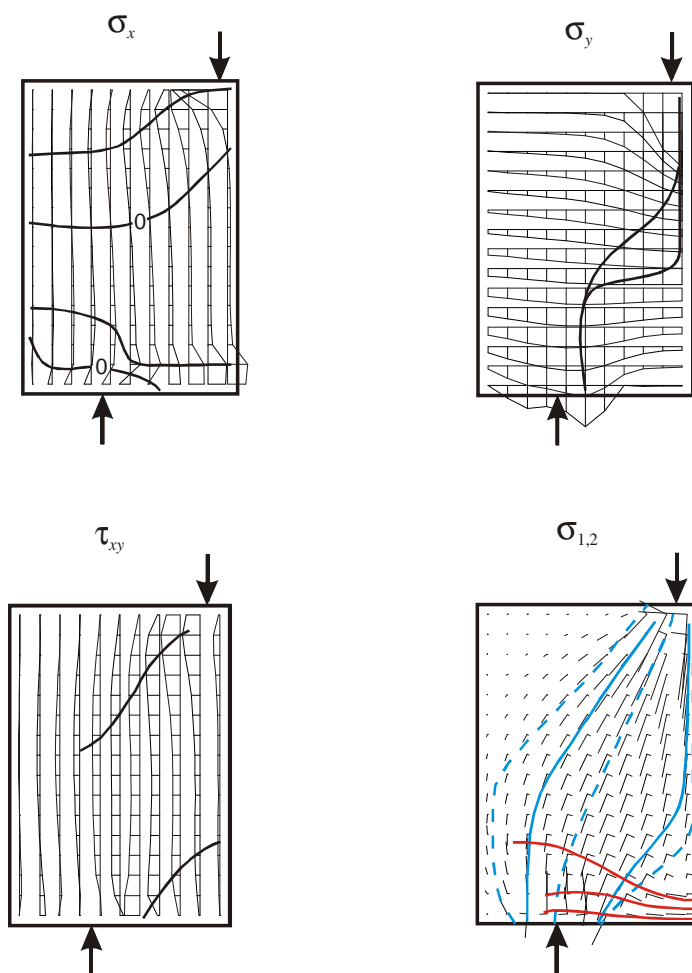


Рис. 2. Эпюры напряжений балки с $a/h_0=0,5$

На рис. 2 показан характер распределения нормальных напряжений σ_y для балок с $a/h_0=0,5$ и с $a/h_0=1,5$. Характерным для коротких балок является то, что максимальные напряжения σ_y располагаются в вертикальном сечении по линии действия нагрузки. При этом, с удалением от верхней и нижней грани, то есть с удалением от линии действия нагрузки, величина действия максимальных напряжений уменьшается. Одновременно происходит увеличение длины эпюр σ_y в направлении оси X.

На рис. 2, 3 показан характер распределения касательных напряжений τ_{xy} в балках с $a/h_0=0,5$ и с $a/h_0=1,5$. Характерным является то, что в пролете среза в вертикальных сечениях, расположенных близко к осям передачи нагрузки, эпюры τ_{xy} имеют максимальные значения в верхней части для сечений, расположенных ближе к центру передачи нагрузки, и в нижней части в сечениях, расположенных близко к центру действия реакции.

На рис. 2, 3 показан характер распределения главных сжимающих и главных растягивающих напряжений для балок с $a/h_0=0,5$ и с $a/h_0=1,5$.

На рис. 2 – 4 построены линии максимальных, равных и нулевых напряжений.

Анализ напряженно-деформированного состояния. Анализируя изменения характера распределения нормальных напряжений σ_x в балках с пролетом среза 0,5 и 1,5 (рис.2, 3),

следует отметить изменение положения нулевой линии. В балках с пролетом среза 0,5 существует три нулевых линии, при этом основная нулевая линия проходит примерно в средней части балки и имеет ниспадающий характер. В балках с $a/h_0=1,5$, так же несколько нулевых линий, основная нулевая линия также располагается в средней части балки, но носит дугообразный характер. Наличие нескольких нулевых линий говорит о том, что характер распределения нормальных напряжений σ_x в значительной степени отличается от обычных балок. Анализируя характер распределения линий равных напряжений σ_x , можно наглядно убедиться в концентрации растягивающих напряжений на уровне растянутой арматуры и в равномерном снижении сжимающих напряжений σ_x в направлении линии, соединяющей центры приложения нагрузок.

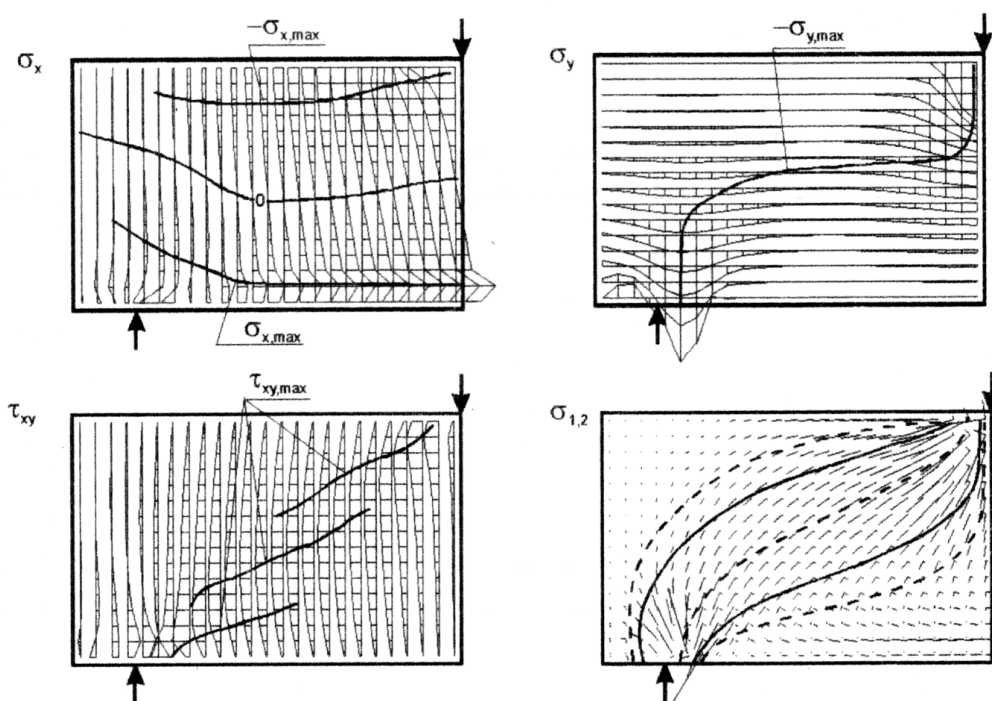


Рис. 3. Эпюры напряжений в балке с $a/h_0=1,5$

Отличительной особенностью в расположении максимальных сжимающих напряжений σ_x в балках с $a/h_0=0,5$ и с $a/h_0=1,5$ является изменение траектории линии максимальных сжимающих напряжений $\sigma_{x \max}$. В балках с $a/h_0=0,5$ линия $\sigma_{x \max}$ является наклонной и снижение траектории $\sigma_{x \max}$ происходит при удалении от линии действия силы (см. рис. 2). В балках с $a/h_0=1,5$ линия сжимающих напряжений становится более полой и почти параллельной верхней грани. В целом, принципиальных различий в распределении σ_x в балках с $a/h_0=0,5$ и с $a/h_0=1,5$ нет.

Анализ характера распределений нормальных напряжений σ_y в балках с $a/h_0=0,5$ и с $a/h_0=1,5$ показал, что распределение этих напряжений σ_y с увеличением a/h_0 изменяется. Одинаковым является концентрация максимальных напряжений в зоне действия нагрузок. Однако, в балках с $a/h_0=0,5$ линии максимальных напряжений являются непрерывными и носят дугообразный характер. В балках с $a/h_0=1,5$ линии максимальных напряжений разрываются в средней части балки. По линиям равных напряжений σ_y можно судить о размерах зон местного действия нагрузок, а также, о взаимном влиянии этих зон. В балках с $a/h_0=0,5$ зоны местного действия нагрузок сливаются, уровень линий одинаковых напряжений высок. В балках с $a/h_0=1,5$ зоны местных действий усилий удаляются по мере увеличения a/h_0 . При этом, снижается взаимное влияние этих зон и линии максимальных напряжений разрываются [3,7].

Анализ характера расположения касательных напряжений τ_{xy} в балках с $a/h_0=0,5$ и с $a/h_0=1,5$ показал, что максимальные значения этих напряжений располагаются в пролете среза. С увеличением a/h_0 изменяется характер распределения напряжений τ_{xy} в средней части пролета. Линии максимальных напряжений, проведенные в верхней и нижней части балки, по сути, являются траекториями прогнозируемых трещин в бетоне. Особенностью в характере распределения $\tau_{xy \max}$, в балках с a/h_0 является появление в средней части балки еще одной линии $\tau_{xy \max}$. Анализ характера главных сжимающих и главных растягивающих напряжений показал, что главные сжимающие напряжения концентрируются между верхней гранью опоры, между осями действия внешней и реактивной нагрузки. Степень концентрации различна в балках с $a/h_0=0,5$ и с $a/h_0=1,5$. Траектории главных сжимающих напряжений с увеличением a/h_0 имеют меньший угол наклона и степень концентрации различна. При этом, ширина наклонного участка, в пределах которого концентрируются линии главных деформаций (напряжений), уменьшается при увеличении a/h_0 .

Главные растягивающие напряжения концентрируются у нижней грани балки, при этом траектория максимальных растягивающих напряжений отклоняется вглубь балки в зоне действия реактивных сил.

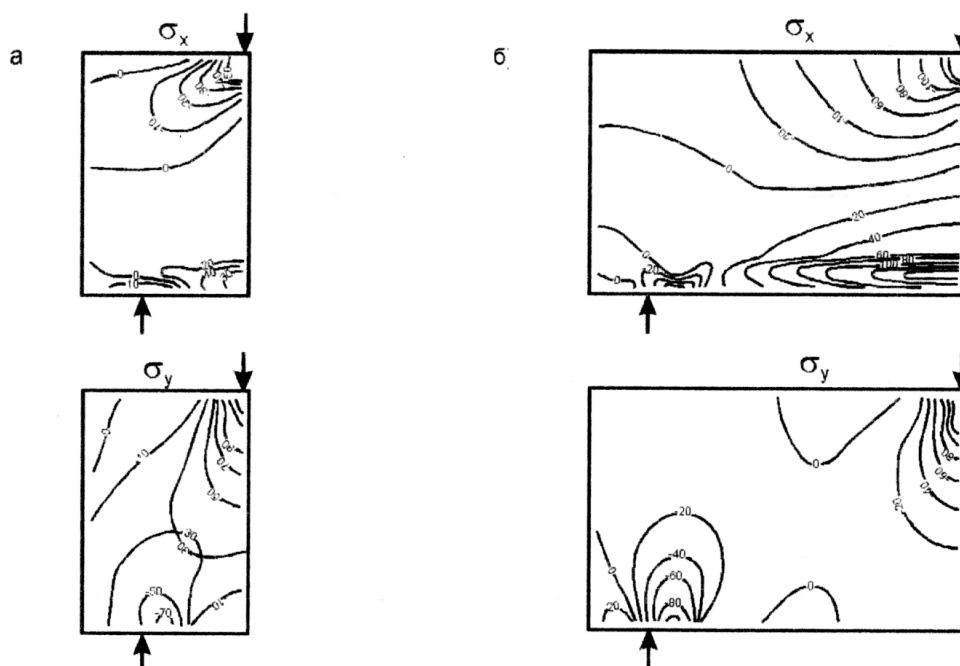


Рис. 4. Линии равных напряжений σ_x , σ_y :

а – $a/h_0=0,5$; б – $a/h_0=1,5$

Выводы

Выявлено отличие коротких балок от обычных балок по характеру распределения нормальных напряжений σ_x . Отличительной особенностью коротких балок является наличие нескольких нулевых линий, а также характер их расположения.

Выявлено, также, отличие коротких балок от обычных балок по характеру распределения нормальных напряжений σ_y . Установлено, что при увеличении пролета среза от 0,5 до 1,5 снижается взаимное влияние зон местных напряжений за счет увеличения расстояний между линиями $\sigma_{y \max}$.

Линии максимальных касательных напряжений $\tau_{xy \max}$, которые, по сути, являются траекториями наклонных трещин в бетоне коротких балок, в полной мере соответствуют классификации трещин, принятой ранее [4].

Выявлено, что в коротких балках с $a/h_0=1,5$, также, как и в коротких балках с $a/h_0=0,5$, главные сжимающие напряжения концентрируются в наклонных участках, расположенных между местами приложения внешних и реактивных сил. Главные растягивающие напряжения концентрируются в горизонтальных участках, расположенных вдоль нижней грани балки.

Выявлен характер изменения положения наклонных участков, в пределах которых концентрируются главные сжимающие напряжения при увеличении пролета среза от 0,5 до 1,5. Особенность заключается в том, что при увеличении пролета среза уменьшается угол

главных сжимающих напряжений, а также ширина наклонного участка, в пределах которого происходит концентрация главных сжимающих напряжений. Кроме того, увеличивается значение главных сжимающих напряжений у внутренней грани наклонного участка.

Список литературы

1. Баранова, Т.И. Гармонизация методов расчета железобетонных балок с различным пролетом среза / Т.И. Баранова, О.В. Снежкина // Вестник Отделения строительных наук РААСН, -1998. - №2.- С.41-45с.
2. Баранова, Т.И. Моделирование работы коротких железобетонных балок/Т. И. Баранова, Ю. П. Скачков, О. В. Снежкина, Р. А. Ладин // Вестник СибаДИ.- 2014.- № 2(36).- С.54-60.
3. Ладин, Р. А. Характер напряженно-деформированного состояния коротких балок, армированных хомутами / Р.А. Ладин, О.В. Снежкина, М.В. Кочеткова, А.В. Корнюхин // Новый университет. Серия: Технические науки. -№ 10(20). - 2013. -с.51-54.
4. Скачков, Ю. П. Особенности напряженно-деформированного состояния коротких железобетонных элементов / Ю.П. Скачков, О.В. Снежкина, М.В. Кочеткова, А.В. Корнюхин // Молодой ученый. - № 12(59). - 2013. - с.172-175.
5. Скачков, Ю. П. Оценка напряженно-деформированного состояния железобетонных ростверков/ Ю.П. Скачков, А.В. Корнюхин, О.В. Снежкина, М.В. Кочеткова // Региональная архитектура и строительство. - № 1(18). - 2014. - С. 72-76.
6. Снежкина, О. В. Расчет прочности железобетонных балок со средним пролетом среза / О.В. Снежкина, М.В. Кочеткова, А.В. Корнюхин, Р.А. Ладин // Региональная архитектура и строительство. - № 1(18). - 2014. - С. 118-122.
7. Снежкина, О. В. Экспериментально-теоретические исследования коротких железобетонных балок / О.В. Снежкина, М.В. Кочеткова, А.В. Корнюхин, Р.А. Ладин // Новый университет. Серия: Технические науки. - № 8-9 (18-19). - 2013. - С. 53-56.

Рецензенты:

Бакушев С.В., д.т.н., профессор кафедры "Механика" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный университет архитектуры и строительства", г.Пенза.

Монахов В.А., д.т.н., профессор кафедры "Механика" ФГБОУ ВПО "Пензенский государственный университет архитектуры и строительства", г.Пенза.