

Д.Г. УТКИН¹¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», г. Москва, Россия

ПРОЧНОСТЬ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ЗОННЫМ АРМИРОВАНИЕМ ИЗ СТАЛЬНОЙ ФИБРЫ

Аннотация. На основании теоретических и экспериментальных исследований сформулированы предпосылки и метод расчета, изгибаемых и сжато-изогнутых железобетонных конструкций с зонным армированием из стальной фибры, работающих при статических и кратковременных динамических нагрузках. В разработанном методе расчета прочности нормальных и наклонных сечений реализована нелинейная деформационная модель, в основу которой положены фактические диаграммы деформирования материалов. Для подтверждения основных результатов разработана методика, запланированы и проведены численные и натурные экспериментальные исследования железобетонных балочных конструкций, армированных обычной арматурой и зонным сталефибровым слоем. Экспериментальные исследования проведены при статическом и кратковременном динамическом нагружении. В результате проведенных экспериментов получены данные, характеризующие процесс разрушения, деформирования и трещинообразования сталефиброжелезобетонных элементов при таких видах нагружения. Выявлена эффективность фибрового армирования нормальных и наклонных сечений для повышения прочностных и деформативных характеристик железобетонных конструкций.

Ключевые слова: фибробетон, статика, динамика, прочность, деформативность, нелинейность, образование трещин, эксперимент.

D.G. UTKIN¹¹National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

STRENGTH OF BENT REINFORCED CONCRETE ELEMENTS WITH ZONE REINFORCEMENT MADE OF STEEL FIBER

Abstract. On the basis of theoretical and experimental studies, the assumptions and calculation method for flexible and compressed-curved reinforced concrete structures with zone reinforcement made of steel fiber operating under static and short-term dynamic loads are formulated. In the developed method for calculating the strength of normal and inclined sections, a nonlinear deformation model is implemented, which is based on the actual deformation diagrams of materials. To confirm the main results of this method, numerical and full-scale experimental studies of reinforced concrete beam structures reinforced with conventional reinforcement and a zone steel-fiber layer were planned and carried out. Experimental studies were carried out under static and short-term dynamic loads. As a result of the conducted experiments, data were obtained that characterize the process of destruction, deformation and crack formation of steel-reinforced concrete elements under such types of loading. The efficiency of fiber reinforcement of normal and inclined sections for increasing the strength and deformation characteristics of reinforced concrete structures is revealed.

Keywords: fiber concrete, statics, dynamics, strength, deformability, non-linearity, crack formation, experiment.

Введение

Современное развитие строительной отрасли позволяет использовать при проектировании зданий и сооружений различные композитные и фибробетонные материалы. Эффективность применения таких материалов при проектировании и, особенно, при

усиление несущих строительных конструкций доказана многочисленными теоретическими и экспериментальными исследованиями Российских и зарубежных ученых [4...10]. Применение зонного армирования из стальной фибры в сжатой либо растянутой зоне сечения изгибаемых и сжато-изогнутых железобетонных конструкций, и их элементов позволяет увеличивать прочность нормальных и наклонных сечений, трещиностойкость, деформативность этих конструкций при статическом и кратковременном динамическом нагружениях.

В настоящее время при проектировании несущих конструкций зданий и сооружений необходимо все чаще учитывать возможное динамическое воздействие на здание или сооружение. Такое воздействие зачастую приводит к развитию больших деформаций в строительных конструкциях, потери несущей способности и разрушению. Таким образом, для железобетонных конструкций зданий и сооружений, работающих в условиях возможного динамического воздействия, необходимо применять материалы, обладающие повышенной несущей способностью и энергоемкостью, способных не разрушаясь выдержать такое воздействие.

Однако при всем преимуществе сталефибробетона, до сих пор возникает множество трудностей в его массовом применении. Это вызвано как сложностью технологии изготовления сталефибробетонных конструкций и фибробетонной смеси на строительной площадке, так и отсутствием метода и доступного инструмента расчета различных вариантов применения сталефибробетонных конструкций для зданий. Существующий нормативный документ СП 360.1325800.2017. «Конструкции сталефибробетонные» не позволяет в полной мере оценить несущую способность конструкций, работающих в условиях кратковременного динамического нагружения. Также в существующих нормах не подразумевается расчет прочности нормальных и наклонных сечений железобетонных элементов с применением зонного армирования элемента или конструкции, что актуально при выполнении усиления существующей поврежденной при эксплуатации железобетонной конструкции.

Таким образом, задачи исследования работы изгибаемых и сжато-изогнутых железобетонных конструкций с зонным армированием из стальной фибры при статическом и кратковременном динамическом нагружении, а также разработки универсального метода и реализующего его инструмента, являются весьма актуальными для расширения областей применения сталефибробетона как материала для усиления существующих, так и для проектирования новых экономичных и надежных железобетонных конструкций зданий и сооружений.

Для оценки несущей способности сталефиброжелезобетонных конструкций разработан метод расчета прочности изгибаемых и сжато-изогнутых железобетонных элементов с зонным армированием из стальной фибры при статическом и кратковременном динамическом нагружениях, позволяющий наглядно оценить запас несущей способности, либо обнаружить перегрузку конструкции или ее элемента под нагрузкой.

Физической основой предлагаемого метода расчета сталефиброжелезобетонных элементов при статическом и кратковременном динамическом нагружении являются действительные нелинейные диаграммы деформирования бетона, фибробетона и арматуры, аналитическое описание которых получено на основе обобщения имеющихся экспериментальных данных. Основные параметрические точки на диаграммах при кратковременном динамическом нагружении трансформируются вдоль временной координаты. Аналитическое описание коэффициентов динамического упрочнения для бетона и арматуры получены на основе логарифмических зависимостей профессоров Ю.М. Баженова и Г.И. Попова. Нелинейная диаграмма деформирования и коэффициенты динамического упрочнения для сталефибробетона (см. рисунок 1) предложены с учетом работ В.И. Григорьева [4], Л.Г. Курбатова, Ф.Н. Рабиновича [5] и результатов собственных исследований [6, 7].

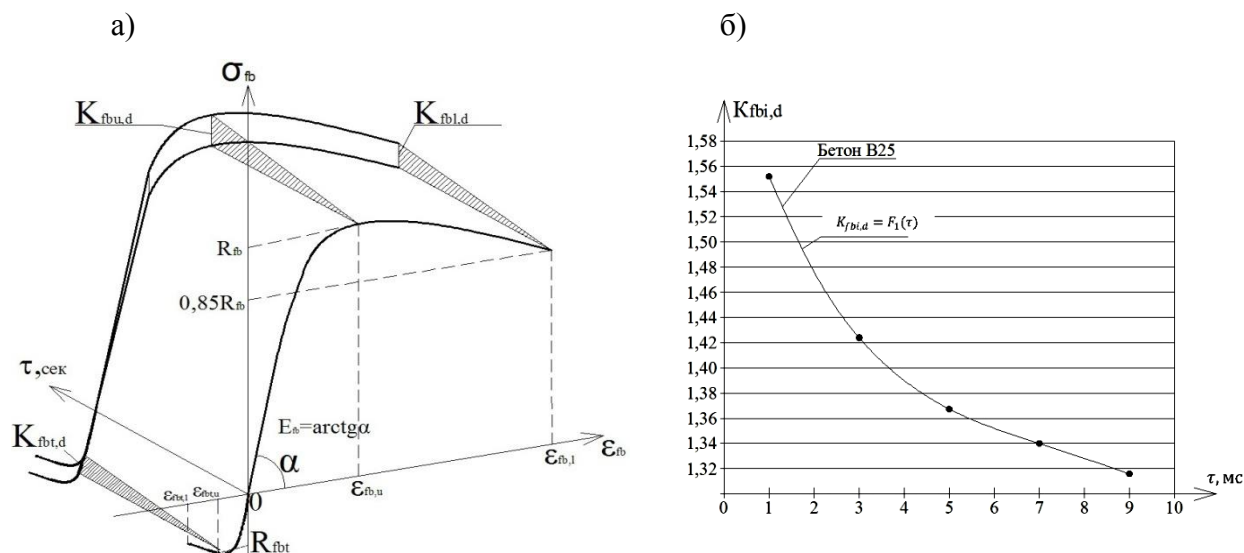


Рисунок 1 – Физические характеристики сталефибробетона при статическом и кратковременном динамическом нагружении: а) диаграмма « σ - ϵ » при сжатии и растяжении, б) зависимость коэффициента динамического упрочнения сталефибробетона от времени действия кратковременной динамической нагрузки

Разработанный метод расчета прочности и трещиностойкости сталефиброжелезобетонных элементов реализует деформационную модель с учетом нелинейных диаграмм деформирования бетона, арматуры и сталефибробетона, исходя из их напряженно-деформированного состояния на различных стадиях работы элемента (см. рисунок 2). За критерий исчерпания статической либо динамической прочности нормального сечения принимается достижение деформациями растянутой арматуры и сжатого бетона (сталефибробетона) в рассматриваемом сечении элемента их предельных значений.

Процесс вычисления внутренних усилий в сталефиброжелезобетонном элементе разбивается на заданное количество этапов, на каждом из которых определяются значения высоты сжатой зоны бетона (фибробетона), деформаций бетона (сталефибробетона) сжатой зоны сечения, сталефибробетона растянутой зоны сечения, сжатой и растянутой арматуры.

Далее, на основании аналитических зависимостей, описывающих диаграммы деформирования бетона, арматуры и сталефибробетона, производится определение напряжений в каждом из этих материалов по вычисленным значениям деформаций. По полученным значениям напряжений осуществляется послойное суммирование усредненных в пределах слоев значений внутренних усилий. В результате определяются предельные относительные продольные усилия и изгибающие моменты, воспринимаемые нормальным сечением, относительно центра тяжести бетонного сечения, которые являются координатами, описывающими область относительного сопротивления по трещиностойкости и прочности нормального сечения сталефиброжелезобетонного элемента при статическом или кратковременном динамическом нагружении. При этом за единичные параметры приняты несущая способность бетонного сечения при сжатии и сжатии с изгибом относительно его центра тяжести. Получаемые при расчетах области относительного сопротивления позволяют оценить прочность и трещиностойкость сталефиброжелезобетонного элемента при любом сочетании продольных сил и изгибающих моментов.

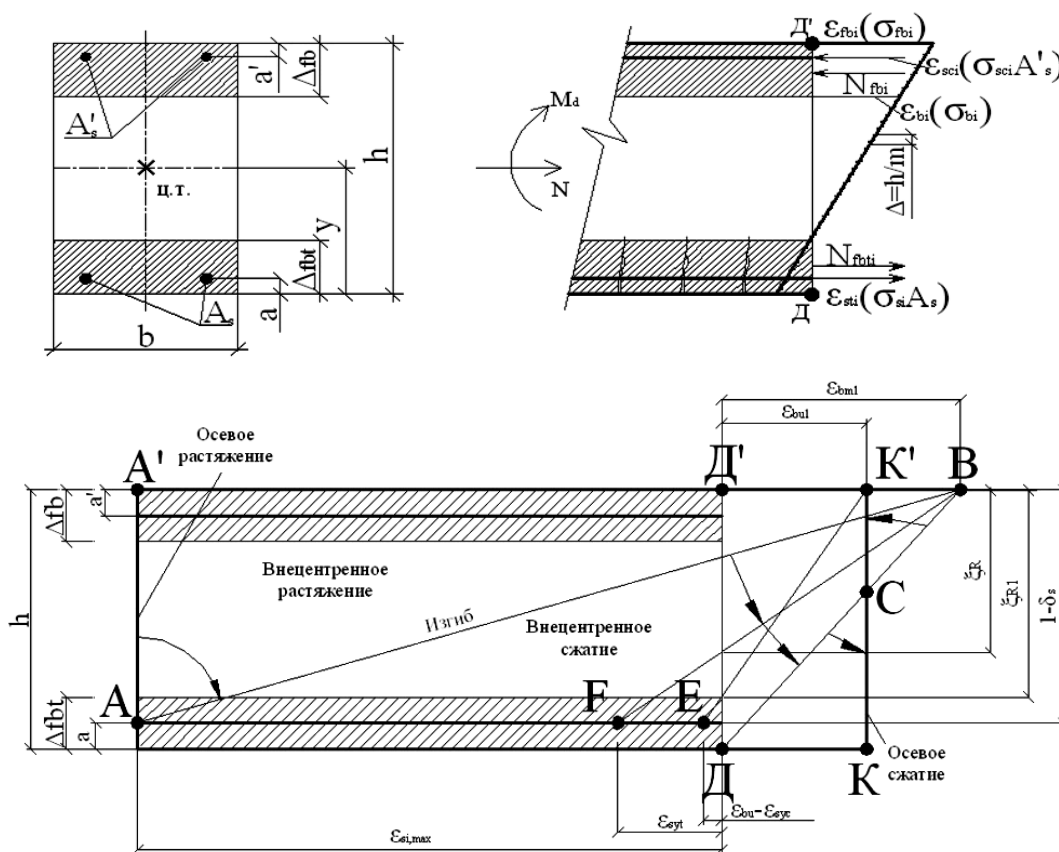


Рисунок 2 - Расчетная модель, характеризующая последовательность развития деформаций в нормальном сечении сталефибробетонного элемента в зависимости от вида нагружения

Предложенная деформационная модель позволяет рассмотреть весь процесс деформирования элемента на всех стадиях его работы, включая предельные параметры (осевое растяжение, изгиб, осевое сжатие).

Большая наглядность при расчетах прочности сталефибробетонных элементов достигается при векторном представлении относительных усилий, возникающих в рассматриваемых сечениях, части или элементе в целом от внешних динамических воздействий, полученных в результате динамического расчета. При этом каждому воздействию или сумме воздействий будут соответствовать компоненты векторов действующих относительных усилий $\alpha_{ni} = N_i(t)/(R_{bd}A)$, $\alpha_{qi} = Q_i(t)/(R_{bd}A)$, $\alpha_{mi} = M_i(t)/(R_{bd}S)$ (см. рисунок 3, 4).

После проецирования относительных значений усилий на плоскость α_n и α_m получим изменение вектора при статическом нагружении (рисунок 3а) или следа относительных усилий во времени при кратковременном динамическом нагружении (рисунок 3б).

Область относительного сопротивления по прочности наклонного сечения, изгибаемого сталефиброжелезобетонного элемента представлена на рисунке 4. Также на рисунке показана трансформация области для обычного железобетонного элемента без сталефибрового армирования в область сопротивления элемента, армированного вместо бетона сталефибробетоном в пределах расстояния крайних четвертей расчетного пролета.

Разность ($\Delta\alpha_n$, $\Delta\alpha_m$) между значениями действующих относительных усилий и предельных усилий, воспринимаемых сечением, названа компонентами запаса прочности нормального или наклонного сечения сталефибробетонного элемента. При положительном их значении условия прочности рассматриваемого элемента выполняются, в противном случае – не выполняются.

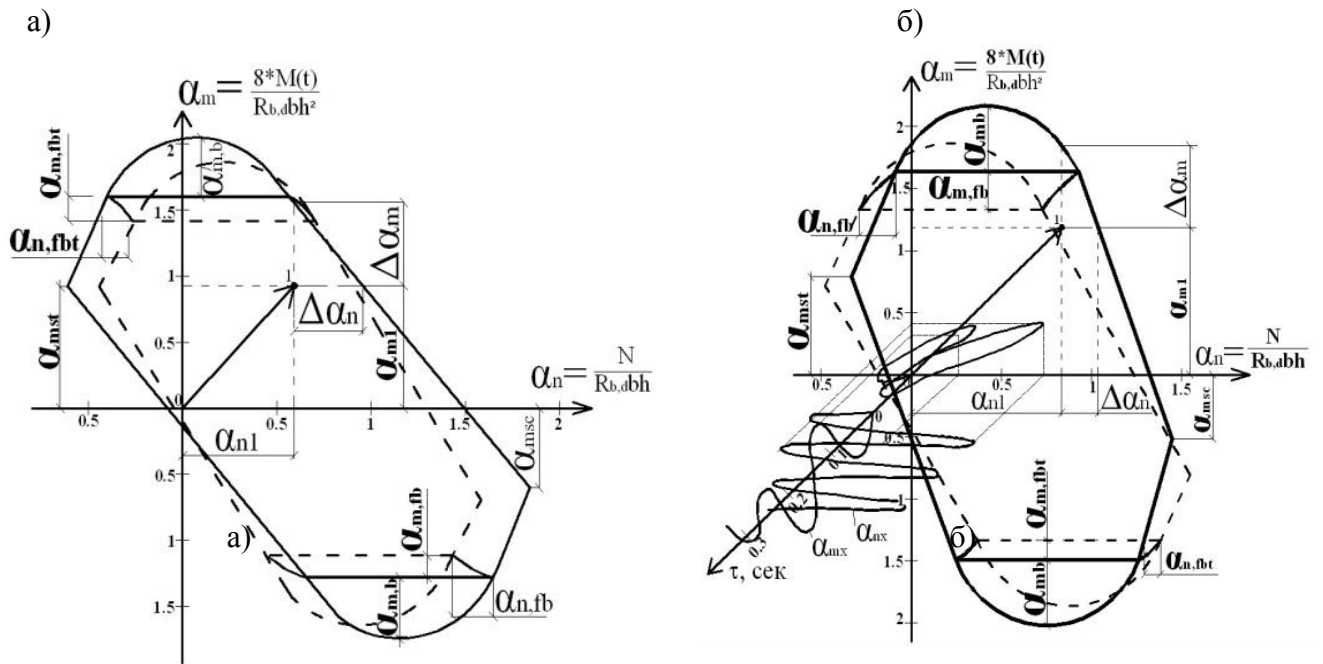


Рисунок 3 - Область относительного сопротивления по прочности нормального сечения при кратковременном динамическом нагружении сжато-изогнутого железобетонного элемента с зонным армированием из стальной фибры: а) - в растянутой зоне; б) - в сжатой зоне.

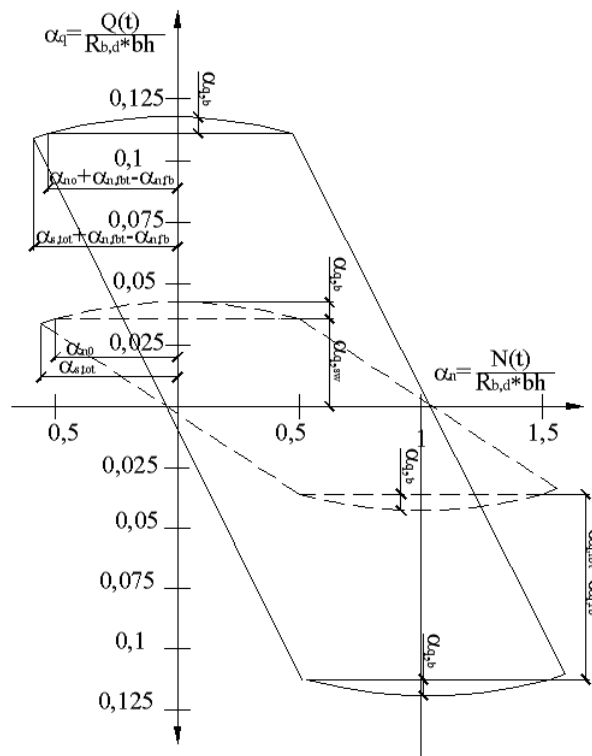


Рисунок 4 - Область относительного сопротивления по прочности наклонного сечения при кратковременном динамическом нагружении сжато-изогнутого железобетонного элемента с зонным армированием из стальной фибры

Разработанные методы расчета доведены до программы расчета железобетонных конструкций с зонным армированием из стальной фибры при кратковременном динамическом нагружении с учетом неупругих свойств сталефибробетона и железобетона. Выполненные численные исследования позволили установить влияние различных параметров сталефибрового армирования (коэффициент фибрового армирования, виды

применяемых фибр, длина и размеры поперечного сечения стальных фибр, класс бетона) на прочность нормальных и наклонных сечений изгибаемых и сжато-изогнутых железобетонных элементов при статическом и кратковременном динамическом нагружении.

Для верификации разработанного метода расчета, а также исследования влияния величины и расположения зонного армирования из стальной фибры и комбинированного армирования на прочность нормальных и наклонных сечений, деформативность и энергоемкость железобетонных элементов были проведены экспериментальные исследования изгибаемых и сжато-изогнутых железобетонных элементов с зонным сталефибровым армированием при кратковременном динамическом нагружении.

С зонным армированием из стальной фибры было испытано двадцать две сталефиброжелезобетонных балок с прогнозируемым разрушением по нормальному сечению (программа эксперимента – рисунок 5) и восемь балок с прогнозируемым разрушением по наклонному сечению (см. рисунок 6).

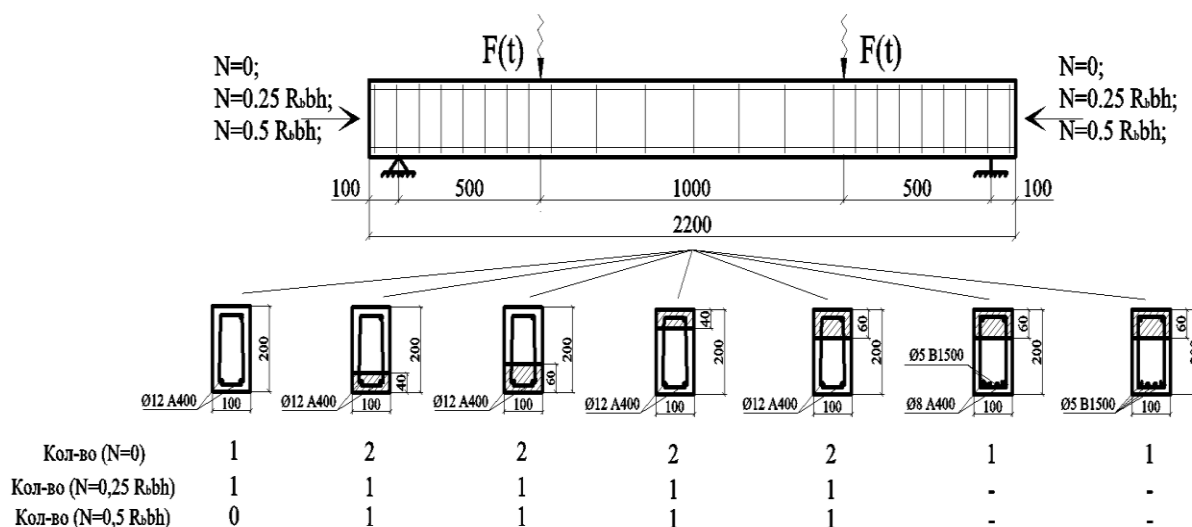
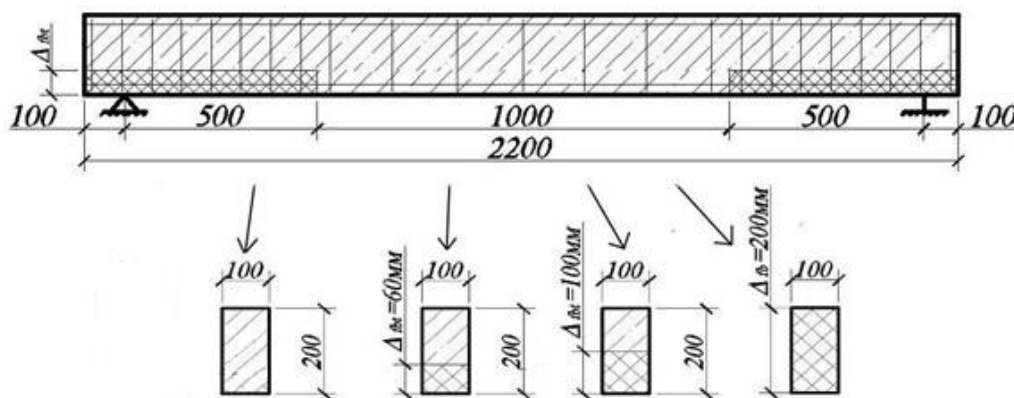


Рисунок 5 - Программа экспериментальных исследований фиброжелезобетонных балок, испытанных до разрушения по нормальному сечению



Условные обозначения:



Рисунок 6 - Программа экспериментальных исследований фиброжелезобетонных балок, испытанных до разрушения по наклонному сечению

Зонное армирование из стальной фибры, высотой 0,2 h и 0,3 h, применялось либо в растянутой, либо в сжатой зонах. Было испытано по четыре образца для каждого варианта зонного армирования, два из которых испытывалось при кратковременном динамическом поперечном изгибе, а два - при кратковременном динамическом поперечном изгибе с обжатием, с различным уровнем продольного сжимающего усилия.

Длина экспериментальных балок составляла 2200 мм, расчетный пролет – 2000 мм., поперечное сечение-100*200 мм.

Процент фибрового армирования по объему бетона составлял 2%. Применялась фибра, нарезанная из стальной полосы, сечением 0,4 x 0,6 мм длиной 40 мм. Армирование балок выполнено вязаными пространственными каркасами. В нижней зоне балок были установлены два стержня $\varnothing 12$ A400. Верхняя арматура выполнена из двух стержней $\varnothing 6$ A240, поперечная арматура - в виде гнутых хомутов из $\varnothing 5$ Bp500.

Для проведения экспериментальных исследований были разработаны оригинальная установка и стенд для испытания изгибаемых и сжато-изогнутых сталефиброжелезобетонных элементов при кратковременном динамическом нагружении.

В ходе экспериментальных исследований все конструкции были доведены до разрушения.

Полученные при экспериментальных исследованиях схемы трещинообразования и разрушения элементов показали, что железобетонные балки с зонным сталефибровым армированием в растянутой зоне разрушились вследствие образования и дальнейшего раскрытия по высоте нормальных трещин по всей длине балки с последующим разрушением сжатой зоны бетона. У элементов с зонным армированием из стальной фибры в сжатой зоне разрушение происходит вследствие образования нормальных трещин по длине балки и при дальнейшем развитии трещин в процессе загрузки происходит незначительное разрушение сжатой зоны бетона. При увеличении уровня продольной сжимающей силы наблюдается более характерное разрушение сжатой зоны бетона, а количество нормальных трещин по длине балки уменьшается. Основное разрушение происходит в центральной части элемента. Характерные схемы разрушения и трещинообразования железобетонной и сталефиброжелезобетонных балок, испытанных при кратковременном динамическом изгибе представлены на рисунке 7.

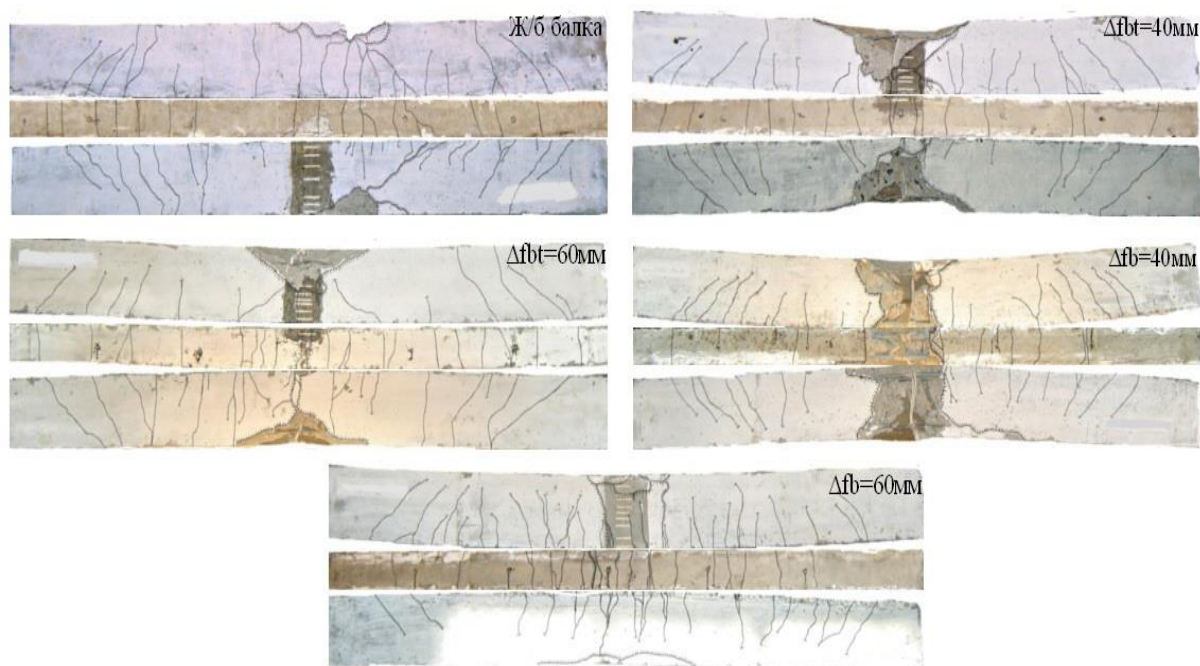


Рисунок 7 – Схемы разрушения и трещинообразования сталефиброжелезобетонных балок при кратковременном динамическом изгибе

При анализе схем разрушения и трещинообразования балок, испытанных с разрушением по наклонному сечению (см. рисунок 8), можно сказать, что железобетонные балки с зонным сталефибровым армированием разрушились по причине образования и дальнейшего раскрытия наклонной трещины в приопорных частях с дальнейшим разрушением бетона около ее вершины и появлением больших трещин в растянутой зоне средней части балки (при $\Delta_{fbt}=0$ мм и $\Delta_{fbt}=60$ мм). В балках с зонным армированием высотой $\Delta_{fb}=100$ мм и $\Delta_{fb}=200$ мм наклонные трещины практически не наблюдались.

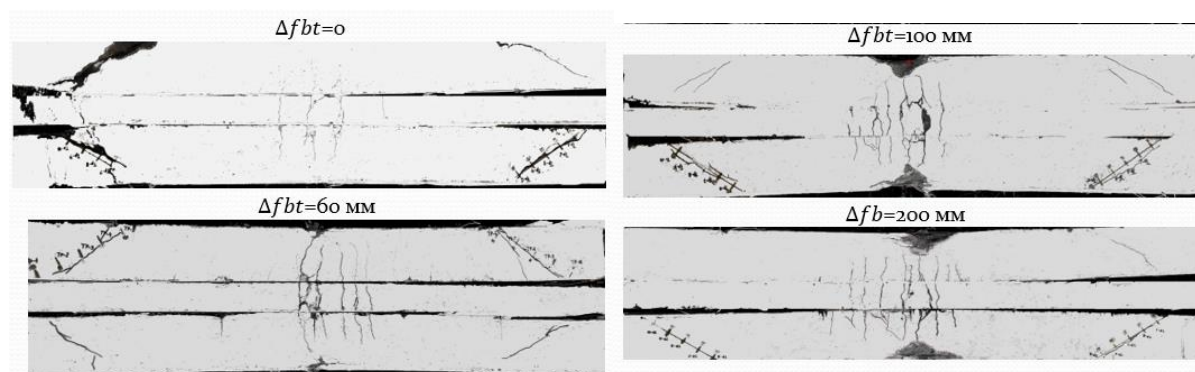


Рисунок 8 – Схемы разрушения и трещинообразования сталефиброжелезобетонных балок при кратковременном динамическом изгибе

С увеличением высоты зонного сталефибрового армирования разрушается сжатая зона бетона с меньшей интенсивностью, а количество нормальных трещин по длине балки увеличивается, основное разрушение происходит в центральной части балки. Наблюдаются сколы сжатой зоны в середине балок. Менее характерно разрушается наклонное сечение, что позволяет сказать, что увеличение зонного армирования в приопорных частях балки благоприятно сказывается на ее прочности по наклонному сечению в результате работы в условиях кратковременного динамического изгиба.

В результате проведенных экспериментов установлены зависимости деформативности бетона, сталефибробетона и арматуры, несущей способности, характера развития трещин и разрушения образцов, изменения энергоемкости и прогибов сталефиброжелезобетонных элементов от величины продольного усилия и параметров зонного сталефибрового и смешанного армирования при кратковременном динамическом нагружении.

Анализ эффективности применения зонного армирования из стальной фибры для изгибаемых и сжато-изогнутых железобетонных элементов при различном уровне продольной сжимающей силы при кратковременном динамическом нагружении показал, что использование зонного сталефибрового армирования в растянутой зоне толщиной 0,2 и 0,3 h для изгибаемых железобетонных элементов повышает их несущую способность соответственно на 12 % и 18%, энергоемкость на 6 % и 10 %, а максимальные прогибы уменьшаются на 22 % и 24 %. При расположении зонного сталефибрового армирования в сжатой зоне сечения - несущая способность повышается соответственно на 20 % и 25 %, энергоемкость на 14 % и 20 %, а максимальные прогибы уменьшаются на 38 % и 43 % (см. рисунки 9, 10).

При действии продольной сжимающей силы, равной $\alpha_n = 0,25 R_b b h$, несущая способность железобетонных и сталефиброжелезобетонных элементов повышается в среднем на 5...6 % по сравнению с изгибаемыми элементами. При последующем увеличении продольной сжимающей силы до уровня $\alpha_n = 0,5 R_b b h$ происходит снижение несущей способности сталефиброжелезобетонных элементов в среднем на 3...8 % по сравнению с чистым изгибом.

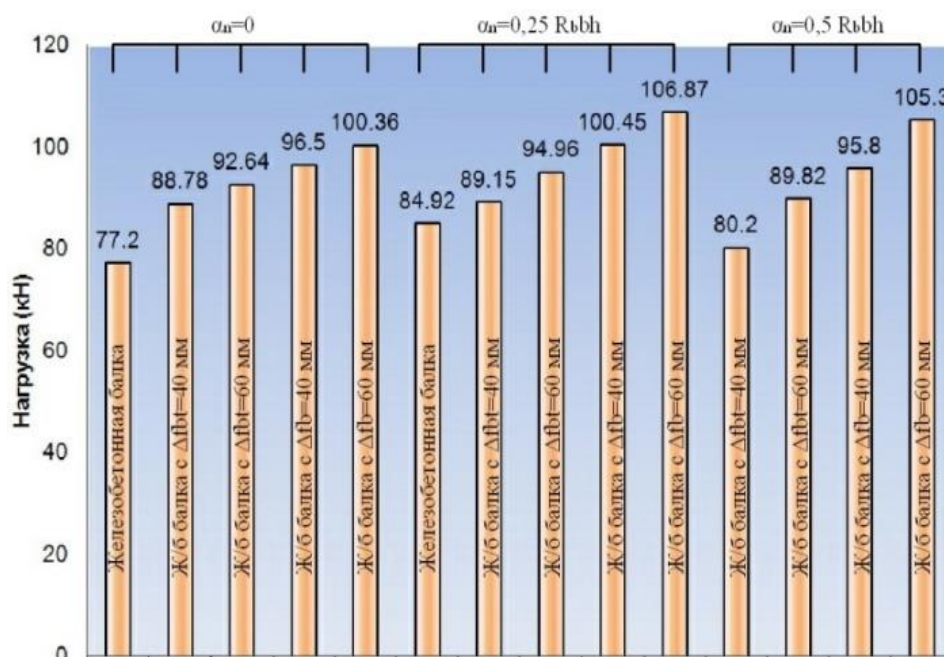


Рисунок 9 – Изменение значения разрушающей нагрузки в зависимости от уровня продольной сжимающей силы и величины зонного сталефибрового армирования

Анализ влияния увеличения по высоте зонного сталефибрового армирования в приопорных частях балки, длиной равной 500 мм, на несущую способность железобетонных элементов позволяет сделать следующие вывод, что применение зонного сталефибрового армирования для изгибаемых железобетонных элементов повышает прочность наклонного сечения по сравнению с:

- со сталефибровым армированием высотой 60 мм в 2,1 раза;
- со сталефибровым армированием высотой 100 мм в 2,4 раза;
- со сталефибровым армированием высотой 200 мм в 3 раза.

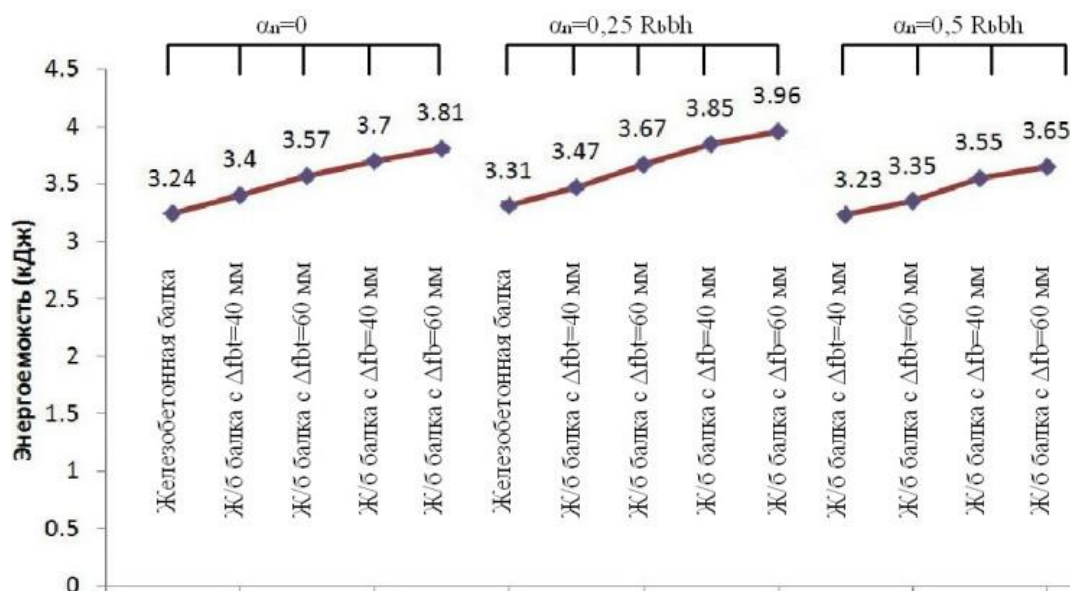


Рисунок 10 – Диаграмма изменения максимальной энергоемкости экспериментальных образцов

Установлено, что наибольший эффект на повышение несущей способности железобетонных элементов оказывает применение зонного сталефибрового армирования в сжатой зоне, при этом величина такого армирования составляет 1/3 от высоты сечения элемента.

Анализ результатов расчетов на основе разработанного метода расчета прочности нормальных сечений сжато-изогнутых железобетонных элементов с зонным армированием из стальной фибры и сравнение их с результатами экспериментальных исследований при кратковременном динамическом нагружении показывают, что отклонения составляют 4-15 % в сторону запаса прочности.

Выводы

1. В результате проведенных экспериментальных исследований прочности и деформативности изгибаемых сталефиброжелезобетонных элементов с зонным армированием из стальной фибры в сжатой зоне и высокопрочной арматурой в растянутой зоне сечения, получены новые опытные данные, характеризующие процесс сопротивления и перемещения таких элементов при воздействии на них кратковременной динамической нагрузки.

2. Полученные экспериментальные данные позволили определить самое эффективное с позиции увеличения несущей способности и уменьшения прогибов армирование из высокопрочной арматуры для изгибаемых сталефиброжелезобетонных конструкций.

3. Разработан метод расчета таких элементов на основе нелинейной деформационной модели с использованием действительных диаграмм деформирования материалов с помощью областей относительного сопротивления по прочности, позволяющий наглядно графически и аналитически определять на любом этапе нагружения конструкции значения расчетных усилий, коэффициенты запаса по прочности нормальных сечений или перегрузку.

4. Выявлена эффективность использования зонного армирования из стальной фибры для усиления наклонных сечений изгибаемых элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов Н.Н., Расторгуев Б.С. Динамический расчет железобетонных конструкций. М.: Стройиздат, 1974. 207 с.
2. Попов Н.Н. Расторгуев Б.С. Вопросы расчета и конструирования специальных сооружений. М.: Стройиздат, 1980. 189 с.
3. Баженов Ю.М. Бетон при динамическом нагружении. М.: Стройиздат, 1970. 270 с.
4. Григорьев В.И. О коэффициенте динамического упрочнения сталефибробетона при растяжении // Исследование и расчет пространственных конструкций гражданских зданий.: сб. науч. тр. Л., 1985. С.95-99.
5. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технология, конструкции. М.: Изд-во АСВ, Москва, 2004. 560 с.
6. Уткин Д. Г. Экспериментальные исследования сжато-изогнутых железобетонных элементов с зонным армированием из стальной фибры при кратковременном динамическом нагружении // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2008. № 3. С. 156-164.
7. Плевков В.С., Уткин Д.Г. Прочность железобетонных элементов с армированием из стальной фибры при кратковременном динамическом нагружении // Научно-технический журнал «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений». 2014. № 5. С. 38-44.
8. Морозов В.И., Хегай А.О. Исследования фиброжелезобетонных колонн с высокопрочной арматурой // Вестник гражданских инженеров. 2011. №3(28). С. 34-37.
9. Морозов В.И. Расчет изгибаемых элементов с высокопрочной арматурой с фибровым армированием растянутых зон // Промышленное и гражданское строительство. 2007. №2. С. 36-39.
10. Плевков В.С., Уткин Д.Г., Карпов А.Е. Прочность и деформативность железобетонных элементов с зонным фибровым армированием при кратковременном динамическом нагружении // Современные проблемы расчета железобетонных конструкций, зданий и сооружений на аварийные воздействия. Сборник докладов Международной научной конференции, посвященной 85-летию кафедры железобетонных и каменных конструкций и 100-летию со дня рождения Н.Н. Попова (19-20 апреля 2016 г., Москва). Москва, 2016. С. 342-348.

REFERENCES

1. Popov N.N., Rastorguev B.S. Dinamicheskii raschet zhelezobetonnykh konstrukttsii [Dynamic calculation of ferro-concrete designs]. Moscow, Stroyizdat, 1974. 207 p. (rus)
2. Popov N.N., Rastorguev B.S. Voprosy rascheta i konstruirovaniya spetsial'nykh sooruzhenii [Questions of calculation and designing of special constructions]. Moscow, Stroyizdat, 1980, 189 p. (rus)
3. Bazhenov Yu.M. Beton pri dinamicheskom nagruzhении [Concrete at dynamic load]. Moscow, Stroyizdat, 1970. 270 p. (rus)
4. Grigor'ev V.I. O koeffitsiente dinamicheskogo uprochneniya stalefibrobetona pri rastyazhenii [About factor dynamic durability of steel fibre reinforced concrete at a stretching]. Research and calculation of spatial designs of civil buildings. The collection of proceedings. Leningrad, 1985. Pp.95-99. (rus)
5. Rabinovich F.N. Kompozity na osnove dispersno armirovannykh betonov. Voprosy teorii i proektirovaniya, tekhnologiya, konstrukttsii [Composites on a basis steel fibre reinforced concrete. Questions of the theory and designing, technology, designs]. Moscow: Izdatel'stvo ASV, 2004. 560 p. (rus)
6. Utkin D.G. Eksperimental'nye issledovaniya szhato-izognutykh zhelezobetonnykh elementov s zonnym armirovaniem iz stal'noi fibry pri kratkovremennom dinamicheskom nagruzhении [Experimental researches it is compressed - bent ferro-concrete elements with zoned reinforcing from a steel fiber at short-term dynamic load]. The bulletin of Tomsk state architectural - building university. 2008. No. 3. Pp. 156-164. (rus)
7. Plevkov V.S., Utkin D.G. Prochnost' zhelezobetonnykh elementov s armirovaniem iz stal'noj fibry pri kratkovremennom dinamicheskom nagruzhении // Nauchno-tekhnicheskij zhurnal «Sejmsostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij». 2014. № 5. S. 38-44.
8. Morozov V.I., Hegaj A.O. Issledovaniya fibrozhelezobetonnykh kolonn s vysokoprochnoj armaturoj [The reseafch of steel fibre reinforced concrete columns with high-strength reinforced bars] // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2011. No.3(28). Pp. 34-37. (rus)
9. Morozov V.I. Raschet izgibaemyh jelementov s vysokoprochnoj armaturoj s fibrovym armirovaniem rastjanutyh zon [The calculation of bent elements with high-strength reinforced bars with fibre reinforcing the stretched zones] // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2007. No.2. Pp. 36-39. (rus).
10. Plevkov V.S., Utkin D.G., Karpov A.E. Prochnost' i deformativnost' zhelezobetonnykh ehlementov s zonnym fibrovym armirovaniem pri kratkovremennom dinamicheskom nagruzhении [The strength and deformability of reinforced concrete elements with fiber reinforcement. in short-term dynamic loading] // Sovremennye problemy rascheta zhelezobetonnykh konstrukcij, zdaniy i sooruzhenij na avarijnye vozdejstviya. Sbornik dokladov Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, posvyashchennoj 85-letiyu kafedry zhelezobetonnykh i kamennykh konstrukcij i 100-letiyu so dnya rozhdeniya N.N. Popova (19-20 aprelya 2016 g., Moskva). Moskva, 2016. Pp. 342-348 (rus).

Информация об авторе:

Уткин Дмитрий Геннадьевич

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, Россия,

кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций.

E-mail: udg70@mail.ru

Information about the author:

Utkin Dmitry G.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,

candidate in technical sciences, docent, associate professor of the department of reinforced concrete and stone structures.

E-mail: udg70@mail.ru