

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

ПРОЧНОСТЬ СЖАТЫХ И ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ЗОННЫМ АРМИРОВАНИЕМ ИЗ СТАЛЬНОЙ ФИБРЫ

Аннотация. Сформулированы и аналитически описаны реальные нелинейные диаграммы бетона, арматуры и сталефибробетона при динамическом нагружении. Проведены теоретические и экспериментальные исследования работы сжатых и внецентренно сжатых элементов с различными уровнями эксцентриситета приложения нагрузки при статических и кратковременных динамических нагрузках. Были изготовлены и испытаны на кратковременную динамическую нагрузку при центральном и внецентренном сжатии 3 железобетонных и 9 железобетонных элементов с зонным армированием из стальной фибры. Получены новые экспериментальные данные, характеризующие процесс деформации и разрушения железобетонных моделей колонн. Также получены схемы разрушения и трещинообразования, зависимость изменения динамической нагрузки во времени, перемещения бетона, арматуры и сталефибробетона во времени. Разработан метод расчета прочности и устойчивости таких элементов с учетом армирования зоны сечения сталефибробетоном. Численно проанализировано влияние использования зонного армирования стальным волокном сжатых и внецентренно сжатых железобетонных элементов. Результаты расчета по разработанной методике сравниваются с результатами экспериментальных данных. Предложен оптимальный вариант применения зонного упрочнения из стального волокна для сжатых и внецентренно сжатых элементов, работающих при статических и кратковременных динамических нагрузках. Анализ результатов расчета на основе разработанного метода расчета прочности нормальных сечений внецентренно сжатого железобетона и сталефибробетона, основанного на модели деформации, и их сравнение с данными экспериментальных исследований при кратковременном динамическом нагружении показывают, что отклонения составляют в среднем 10-18%, что свидетельствует о том, что разработанный метод обладает достаточной точностью для решения практических задач.

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 COMPRESSED AND NON-CENTRALLY COMPRESSED REINFORCED CONCRETE ELEMENTS WITH ZONE REINFORCEMENT OF STEEL FIBER

Abstract. The real nonlinear diagrams of concrete, reinforcement and steel-fiber concrete under dynamic loading are formulated and analytically described. Theoretical and experimental studies of the operation of compressed and non-centrally compressed elements with different levels of load application eccentricity under static and short-term dynamic loads are carried out. 3 reinforced concrete and 9 steel-fiber concrete elements were manufactured and tested for short-term dynamic load under central and off-center compression. New experimental data characterizing the process of deformation and destruction of steel-reinforced concrete models of columns have been obtained. Also, the schemes of destruction and cracking, the dependence of changes in the dynamic load over time, the movement of concrete, reinforcement and steel-fiber concrete over time are obtained. A method has

been developed for calculating the strength and stability of such elements, taking into account the reinforcement of the section with steel fiber concrete. The influence of the use of zone reinforcement with steel fiber of compressed and non-centrally compressed reinforced concrete elements is numerically analyzed. The results of the calculation according to the developed methodology are compared with the results of experimental data. The optimal variant of the application of zone reinforcement made of steel fiber for compressed and non-centrally compressed elements operating under static and short-term dynamic loads is proposed. The analysis of the calculation results based on the developed method for calculating the strength of normal sections of non-centrally compressed reinforced concrete and steel-fiber concrete, based on the deformation model, and their comparison with the data of experimental studies under short-term dynamic loading show that the deviations are on average 10-18 %, which indicates that the developed method has sufficient accuracy to solve practical problems.

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

Введение

Современное развитие строительной отрасли позволяет использовать различные композитные и фибробетонные материалы при проектировании зданий и сооружений. Эффективность использования таких материалов при проектировании и, особенно, при возведении несущих строительных конструкций доказана многочисленными теоретическими и экспериментальными исследованиями российских и зарубежных ученых [1-10]. Применение зонной арматуры из стального волокна в зоне сжатого или растянутого поперечного сечения сжато-изогнутых железобетонных конструкций, и их элементов позволяет повысить прочность поперечных сечений, сопротивление деформации и деформируемость этих конструкций при статических и кратковременных динамических нагрузках [11-15].

В настоящее время при проектировании несущих конструкций зданий и сооружений все чаще возникает необходимость учитывать возможное динамическое воздействие на здание или сооружение. Такое воздействие часто приводит к развитию больших деформаций в строительных конструкциях, потере несущей способности и разрушению [16-20]. Таким образом, для армированных железобетонных конструкций зданий и сооружений, работающих в условиях возможного динамического воздействия, необходимо использовать материалы с повышенной несущей способностью и энергоемкостью, которые могут выдержать такое воздействие без разрушения.

Однако, несмотря на все преимущества сталефиброжелезобетона, при его массовом применении все еще существует много трудностей. Это вызвано как сложностью технологии изготовления сталежелезобетонных конструкций и фибробетонной смеси на строительной площадке, так и отсутствием метода и доступного инструмента для расчета различных применений сталефиброжелезобетонных конструкций для зданий. Действующий нормативный документ СП 360.1325800.2017 «Конструкции сталефибробетонные», не позволяют в полной мере оценить несущую способность конструкций, работающих в условиях кратковременной динамической нагрузки. Также существующие нормы не предусматривают расчет прочности внецентренно сжатых железобетонных элементов с использованием зонного усиления элемента или конструкции, что важно при укреплении существующей железобетонной конструкции, поврежденной в процессе эксплуатации.

Таким образом, задачи изучения работы сжатых и внецентренно сжатых железобетонных конструкций с зонным армированием из стального волокна при статическом и кратковременном динамическом нагружении, а также разработка универсального метода и реализующего его инструмента являются весьма актуальными для расширения областей применения железобетона в качестве материала для усиления существующих, а также для проектирования новых экономичных и надежных железобетонных конструкций зданий и сооружений.

Метод расчета

Для оценки несущей способности сталефиброжелезобетонных конструкций разработан метод расчета прочности 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.

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. 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.

Большая наглядность при расчетах прочности сталефиброжелезобетонных 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 1).

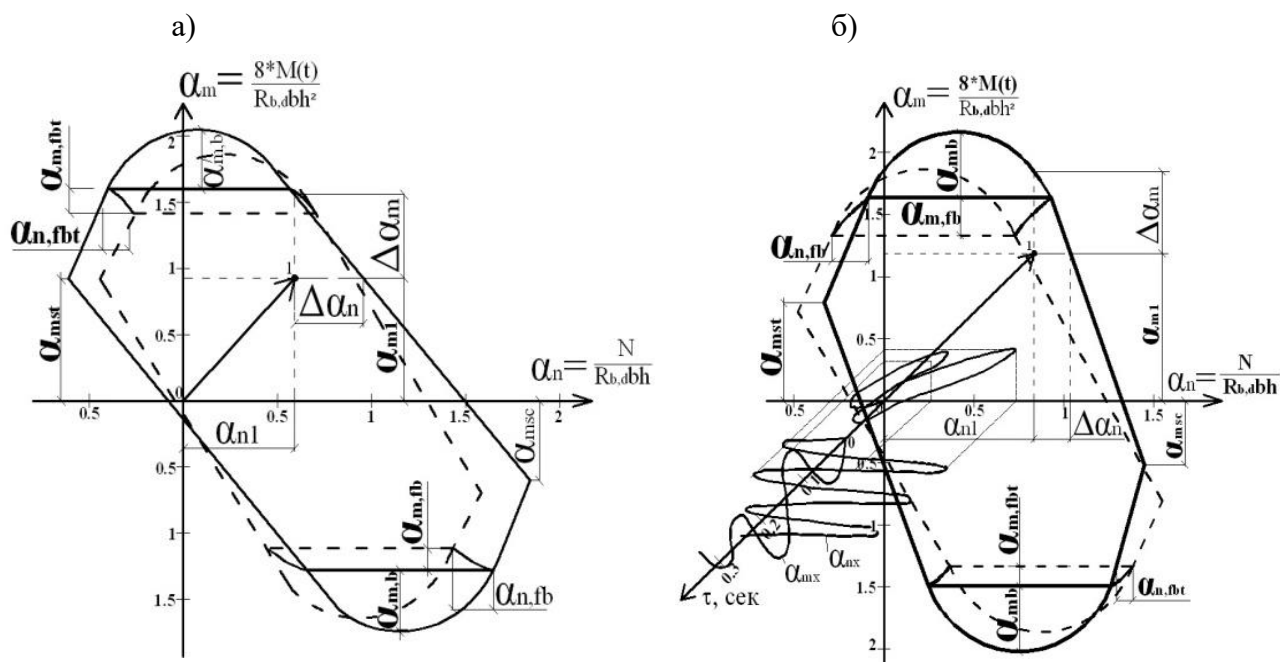


Рисунок 1 - Область относительного сопротивления по прочности нормального сечения при кратковременном динамическом нагружении сжато-изогнутого железобетонного элемента с зонным армированием из стальной фибры: а) - в растянутой зоне; б) - в сжатой зоне.

После проецирования относительных значений усилий на плоскость α_n и α_m получим изменение вектора при статическом нагружении (рисунок 1,а) или следа относительных усилий во времени при кратковременном динамическом нагружении (рисунок 1,б).

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

Разработанный метод расчета реализован в виде программы расчета железобетонных конструкций с зонным армированием из стальной фибры при кратковременном динамическом нагружении с учетом неупругих свойств сталефибробетона и железобетона. Выполненные численные исследования прочности сжатых и внецентренно сжатых моделей колонн при статическом и кратковременном динамическом нагружениях позволили установить оптимальную величину зонного сталефибрового армирования для них.

Экспериментальные исследования

В рамках экспериментальных исследований прочности и деформативности внецентренно сжатых элементов, армированных стальным волокном при кратковременном динамическом нагружении, была сформирована программа эксперимента, которая включала изготовление и испытания трех железобетонных и двенадцати сталефиброжелезобетонных элементов. Все модели колонны были испытаны при кратковременной динамической нагрузке. По всему поперечному сечению была нанесена арматура из стального волокна.

Точка приложения динамической нагрузки на сжатие варьировалась в исследовании: центральное и внецентренное приложение - рисунок 2.

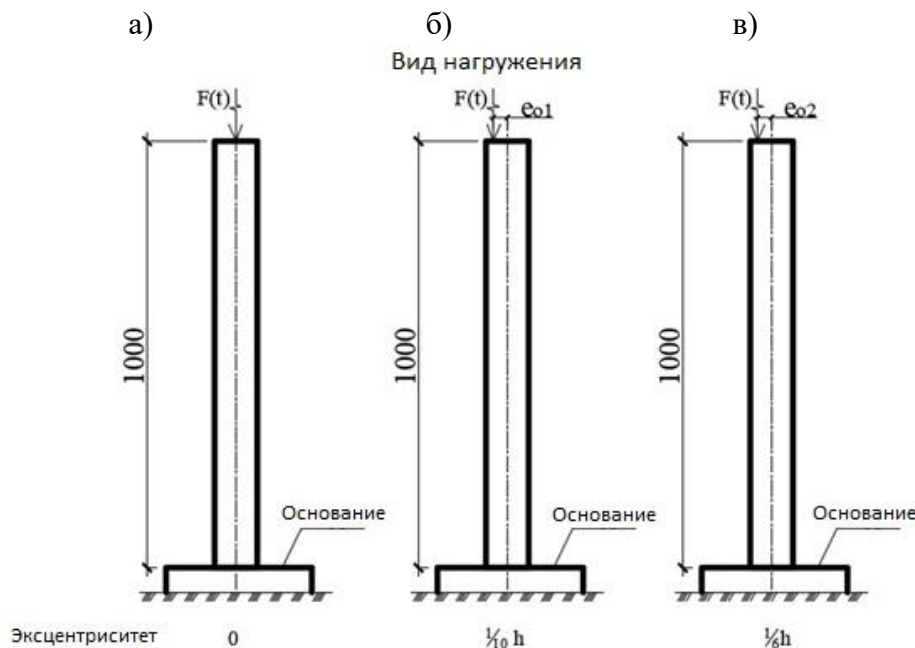


Рисунок 2 - Виды нагружения экспериментальных образцов: а) - условно центральное сжатие;
б) - смещенное от центра сжатие с эксцентриситетом, равным $1/10$ высоты поперечного сечения;
в) - смещенное от центра сжатие с эксцентриситетом, равным $1/6$ высоты поперечного сечения

Точки приложения кратковременной динамической нагрузки располагались в центре поперечного сечения, перпендикулярного продольной оси, и на расстоянии, равном $1/10$ и $1/6$ поперечного сечения колонн.

Выбор размеров опытных образцов определялся задачами экспериментов, возможностями изготовления и тестирования моделей, получения достаточно достоверных значений исследуемых параметров в ходе испытаний.

Размеры образцов были взяты достаточно большими, чтобы не было ориентации волокон вдоль стенок пресс-форм. Кроме того, учтены рекомендации методики изучения прочностных и деформационных свойств неармированного бетона. В результате размеры прототипов следующие: длина колонны составляет 1 м, размеры поперечного сечения составили $b \times h = 0,1 \times 0,1$ м.

Образцы содержали одинаковый процент волокнистой арматуры по объему - 2%. Для изготовления конструкций использовалось волокно, вырезанное из стальной полосы сечением 0,4 x 0,6 мм и длиной 40 мм. Колонны были усилены вязаными пространственными рамами. Были установлены продольные фитинги 4Ø10 A500. Поперечная арматура была выполнена в виде изогнутых зажимов из проволоки Ø3 x 500.

Конструкция прототипов и их армирование показаны на рисунке 3.

В рамках экспериментальных исследований на базе копровой установки были смонтированы испытательные стенды. Конструкция подставки монтируется на силовом полу для обеспечения жесткого крепления. Он включает в себя опоры, блок управления. Устройство одной опоры включает в себя два измерителя силы. Экспериментальный образец установлен на опорах динамометра. Под экспериментальным образцом предусмотрена система страхования, позволяющая избежать повреждения измерительных приборов. Это ограничивает перемещение образца и расположенной на нем загрузочной балки.

Принцип действия устройства заключается в следующем: поперечная ударная нагрузка создается массой падающего груза. Силу удара можно варьировать, изменяя вес груза и высоту падения груза.

Для получения данных о напряженно-деформированном состоянии экспериментального образца используется набор стандартных измерительных приборов. Когда нагрузка попадает на экспериментальный образец, срабатывает акселерометр, расположенный под измерителем силы. Информация с акселерометра передается в измерительный комплекс. Когда груз попадает на экспериментальный образец, кинетическая энергия удара преобразуется в потенциальную энергию, которая расходуется на разрушение образца. Колонна получает определенные перемещения в определенных точках, которые регистрируются счетчиками отклонений, установленными по соответствующей схеме. Разрушающая нагрузка регистрируется измерителем силы. Значение эталонных реакций регистрируется измерителями эталонной силы.

В результате проведенных экспериментальных исследований все экспериментальные образцы моделей колонн были разрушены. После обработки данных преобразователей первичной информации были получены характерные зависимости изменений динамической нагрузки, эталонных реакций, деформаций материалов, прогибов и ускорений во всем диапазоне приложения динамической нагрузки к образцам.

Анализ трещинообразования и закономерностей разрушения показал, что в колоннах с армированным стальным волокном разрушение происходит за счет образования нормальных продольных трещин и при дальнейшем развитии трещин при нагружении бетон головки колонны рассыпается. В железобетонных колоннах наблюдается потеря устойчивости положения, изгиб колонны из плоскости с полным раздроблением головной части колонны. Колонны, армированные сталефибробетоном, не имели изгиба от плоскости,

было зафиксировано только образование продольных трещин и локальное разрушение головок колонн (рисунок 4-6).

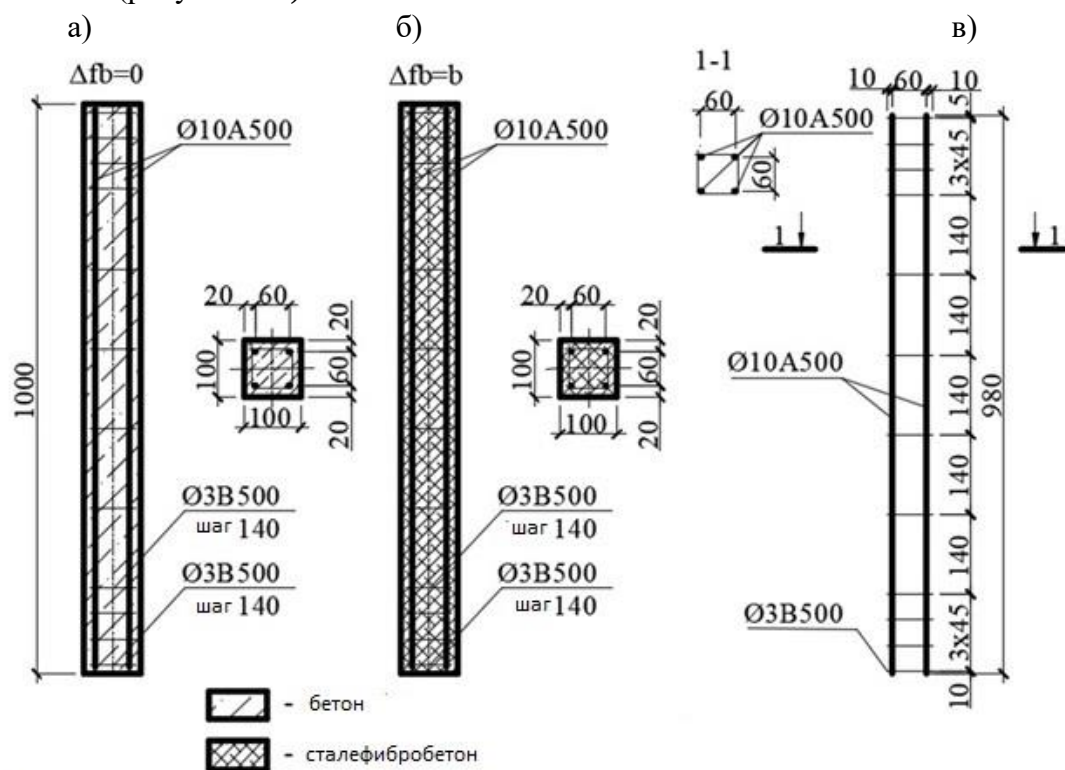


Рисунок 3 - Конструкция опытных образцов и их армирование: а) - образец из железобетона без фибробетона; б) - образец из сталефибробетона; в) - конструкция арматурного каркаса

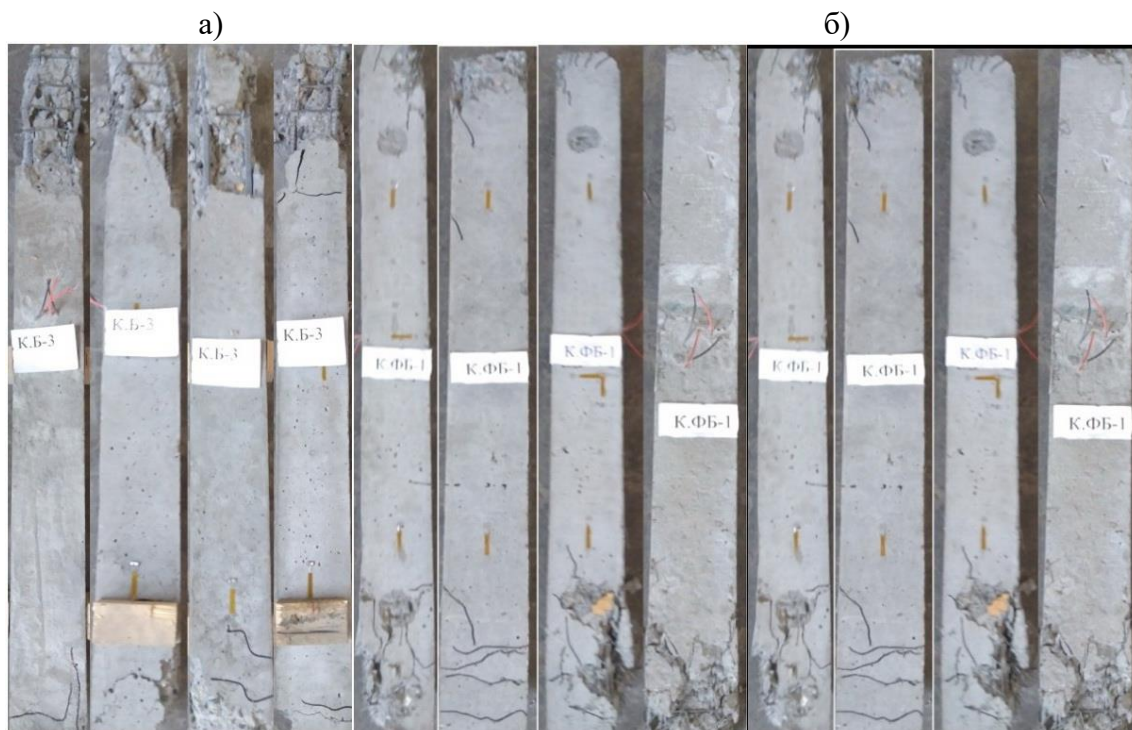


Рисунок 4 - Схемы разрушения образцов при условно центральном сжатии: а) железобетонная колонна; б) сталефибробетонная колонна

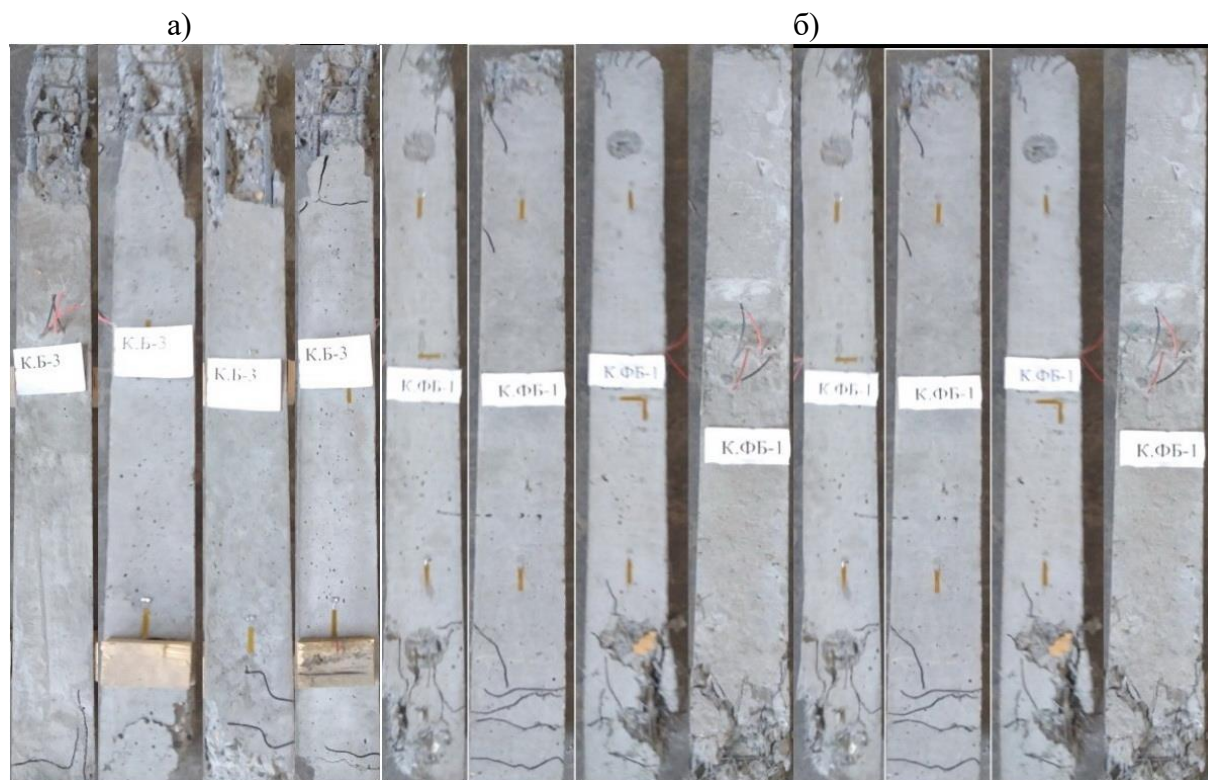


Рисунок 5 - Схемы разрушения и трещинообразования образцов при внецентренном сжатии при значении эксцентриситета приложения нагрузки $e=1/10h$:

а) железобетонная колонна; б) сталефибробетонная колонна

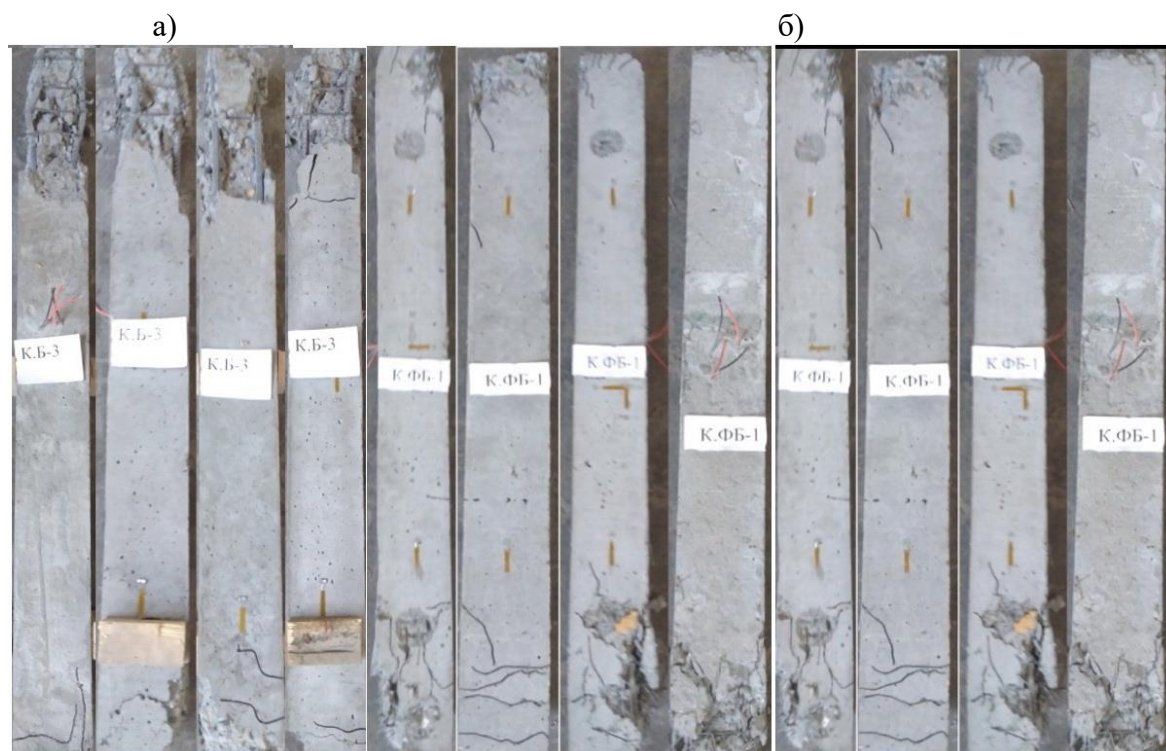


Рисунок 6 - Схемы разрушения и трещинообразования образцов при внецентренном сжатии при значении эксцентриситета приложения нагрузки $e=1/6h$:

а) железобетонная колонна; б) сталефибробетонная колонна

При сравнении результатов разрушающей динамической нагрузки для железобетонных и сталефибробетонных колонн был сделан вывод, что использование арматуры из стального волокна для внецентренно сжатых железобетонных элементов повышает их несущую способность в среднем на 17-23%. Также в ходе экспериментальных исследований было зафиксировано изменение эталонных реакций при приложении динамической нагрузки. Анализ изменений эталонных реакций показал, что их значения были примерно в 1,5-2 раза меньше максимального значения динамической нагрузки, при этом задержка пика максимума эталонных реакций от пика максимума динамической нагрузки составляла в среднем 5...9 мс.

Основываясь на результатах расчетов железобетонных и сталефиброжелезобетонных колонн с использованием разработанного метода расчета, основанного на нелинейной деформационной модели и сравнивая результаты расчетов с результатами экспериментальных исследований, можно сделать вывод о наличии небольшого расхождения между результатами расчета и эксперимента, которое находится в пределах 10-15%. (рисунок 7).

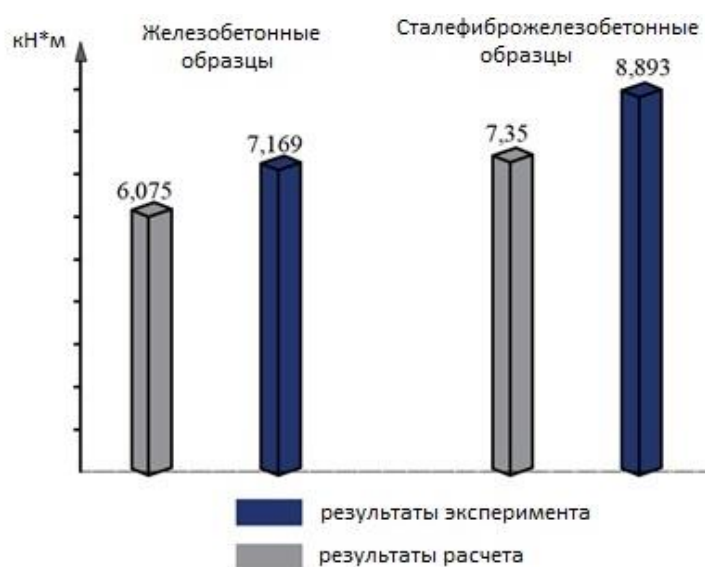


Рисунок 7 - Сравнение результатов расчетной разрушающей нагрузки с экспериментальной разрушающей нагрузкой

Анализ результатов расчета на основе разработанного метода расчета прочности внецентренно сжатых железобетонных и сталефибробетонных элементов, и их сравнение с данными экспериментальных исследований при кратковременном динамическом нагружении показывают, что отклонения составляют в среднем 10-15%, что свидетельствует о том, что разработанный метод обладает достаточной точностью для решения практических задач.

Выводы

1. В результате проведенных экспериментальных исследований прочности и деформативности сжатых и внецентренно сжатых сталефиброжелезобетонных элементов с зонным армированием из стальной фибры, получены новые опытные данные, характеризующие процесс сопротивления и деформирования таких элементов при воздействии на них кратковременной динамической нагрузки.

2. Полученные экспериментальные данные позволили определить самое эффективное положение и величину зонного сталефибрового армирования с позиции увеличения несущей способности 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 или перегрузку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов Н.Н. Динамический расчет железобетонных конструкций / Н.Н. Попов, Б.С. Расторгуев // М., Стройиздат, 1974. 207 с.
2. Попов Н.Н. Вопросы расчета и конструирования специальных сооружений / Н.Н. Попов, Б.С. Расторгуев // М., Стройиздат, 1980. 189 с.
3. Баженов Ю.М. Бетон при динамическом нагружении / Ю.М. Баженов // М., Стройиздат, 1970, 270 с.
4. Григорьев В.И. О коэффициенте динамического упрочнения сталефибробетона при растяжении / В.И. Григорьев // 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 / Ф.Н. Рабинович // 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 / Д.Г. Уткин // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета №3-2008. Томск, 2008. С. 156-164.
7. Плевков В.С., Уткин Д.Г. / Прочность железобетонных элементов с армированием из стальной фибры при кратковременном динамическом нагружении / В.С. Плевков, Д.Г. Уткин // Научно-технический журнал «Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений». Москва, 2014. № 5.С. 38-44.
8. Морозов В.И. Исследования фиброжелезобетонных колонн с высокопрочной арматурой / В.И. Морозов, А.О. Хегай // Вестник гражданских инженеров. 2011. №3(28). С. 34-37.
9. Морозов В.И. Расчет изгибаемых элементов с высокопрочной арматурой с фибровым армированием растянутых зон / В. И. Морозов // Промышленное и гражданское строительство. 2007. №2. С. 36-39
10. Плевков В.С. Прочность и деформативность железобетонных элементов с зонным фибровым армированием при кратковременном динамическом нагружении / В.С. Плевков, Д.Г. Уткин, А.Е. Карпов // 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.
11. Уткин Д.Г. Прочность изгибаемых сталефиброжелезобетонных элементов со смешанным армированием при кратковременном динамическом нагружении / Д.Г. Уткин // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета №6-2017. Томск, 2017. С. 62-76.
12. Kumar V., Kartik K.V., Iqbal M.A. Experimental and numerical investigation of reinforced concrete slabs under blast loading // Engineering Structures. 2020. Vol. 206.
13. Jun Yu, Li-zhong Luo, Qin Fang. Structure behavior of reinforced concrete beam-slab assemblies subjected to perimeter middle column removal scenario // Engineering Structures. 2020. Vol. 208.
14. Caldentey A.P., Diego Y.G., Fernández F.A., Santos A.P. Testing robustness: A full-scale experimental test on a two-storey reinforced concrete frame with solid slabs // Engineering Structures. 2021. Vol. 240.
15. Jinjie Men, Liquan Xiong, Jiachen Wang, Guanlei Fan. Effect of different RC slab widths on the behavior of reinforced concrete column and steel beam-slab subassemblies // Engineering Structures. 2021. Vol. 229.
16. Eladawy M., Hassan M., Benmokrane B., Ferrier E. Lateral cyclic behavior of interior two-way concrete slab-column connections reinforced with GFRP bars // Engineering Structures. 2020. Vol. 209.
17. Deifalla A. A mechanical model for concrete slabs subjected to combined punching shear and in-plane tensile forces // Engineering Structures. 2021. Vol. 231.
18. Yu J.L., Wang Y.C. Modelling and design method for static resistance of a new connection between steel tubular column and fl at concrete slab // Journal of Constructional Steel Research. 2020. Vol. 173.
19. Mao L., Barnett S.J., Tyas A., Warren J., Schleyer G.K., Zaini S.S. Response of small scale ultra high performance fibre reinforced concrete slabs to blast loading // Construction and Building Materials. 2015. Vol. 93. Pp. 822–830.
20. Cervenka V., Jendele L., Cervenka J. ATENA Program Documentation. Part 1. Theory. Prague: Cervenka Consulting, 2020. 344 p.

REFERENCES

1. Popov N.N., Rastorguev B.S. Dinamicheskii raschet zhelezobetonnykh konstruksii [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 stalefibrobeta 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, konstruksii [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'noi fibry pri kratkovremennom dinamicheskom nagruzhении [Durability of reinforced concrete elements with fiberglass reinforcement under short-term dynamic load] / V.S. Plevkov, D.G. Utkin // Nauchno-tehnicheskij zhurnal «Sejsmostoikoestroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij», Moskva, 2014. No. 5. Pp. 38-44. (rus)
8. Morozov V.I. Issledovaniya fibrozhelezobetonnykh kolonn s vysokoprochnoj armaturoj [The reseafch of steel fibre reinforced concrete columns with high-strength reinforced bars]/V. I. Morozov, A. O. Hegaj // 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]/ V.I. Morozov // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2007. No.2. Pp. 36-39. (rus).
10. Plevkov V.S. 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] /V.S. Plevkov, D.G.Utkin, A.E. Karpov// 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).
11. Utkin D.G., Prochnost' izgibaemyh stalefibrozhelezobetonnykh elementov so smeshannym armirovaniem pri kratkovremennom dinamicheskom nagruzhении [Strength of bent steel-reinforced concrete elements with mixed reinforcement under short-term dynamic loading].The bulletin of Tomsk state architectural - building university. 2017.No. 6. Pp. 62-76.(rus)
12. Kumar V., Kartik K.V., Iqbal M.A. Experimental and numerical investigation of reinforced concrete slabs under blast loading // Engineering Structures. 2020. Vol. 206.
13. Jun Yu, Li-zhong Luo, Qin Fang. Structure behavior of reinforced concrete beam-slab assemblies subjected to perimeter middle column removal scenario // Engineering Structures. 2020. Vol. 208.
14. Caldentey A.P., Diego Y.G., Fernández F.A., Santos A.P. Testing robustness: A full-scale experimental test on a two-storey reinforced concrete frame with solid slabs // Engineering Structures. 2021. Vol. 240.
15. Jinjie Men, Liquan Xiong, Jiachen Wang, Guanlei Fan. Effect of different RC slab widths on the behavior of reinforced concrete column and steel beam-slab subassemblies // Engineering Structures. 2021. Vol. 229.
16. Eladawy M., Hassan M., Benmokrane B., Ferrier E. Lateral cyclic behavior of interior two-way concrete slab-column connections reinforced with GFRP bars // Engineering Structures. 2020. Vol. 209.
17. Deifalla A. A mechanical model for concrete slabs subjected to combined punching shear and in-plane tensile forces // Engineering Structures. 2021. Vol. 231.
18. Yu J.L., Wang Y.C. Modelling and design method for static resistance of a new connection between steel tubular column and fl at concrete slab // Journal of Constructional Steel Research. 2020. Vol. 173.
19. Mao L., Barnett S.J., Tyas A., Warren J., Schleyer G.K., Zaini S.S. Response of small scale ultra high performance fibre reinforced concrete slabs to blast loading // Construction and Building Materials. 2015. Vol. 93. Pp. 822–830.
20. Cervenka V., Jendele L., Cervenka J. ATENA Program Documentation. Part 1. Theory. Prague: Cervenka Consulting, 2020. 344 p.

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 author:

Utkin Dmitry G.

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

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

E-mail: udg70@mail.ru