

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.

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 nagruzhenii* [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 nagruzhenii [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 nagruzhenii [Durability of reinforced concrete elements with fiberglass reinforcement under short-term dynamic load] / V.S. Plevkov, D.G. Utkin // *Nauchno-tehnicheskij zhurnal «Seismostojkoestroitel'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 nagruzhenii [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 nagruzhenii [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