

С.Ю. САВИН^{1,2}, М.Д. МЕДЯНКИН¹, М.З. ШАРИПОВ¹

¹Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

²ФГБУ "Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук", г. Москва, Россия

ДЕФОРМИРОВАНИЕ ФИБРОБЕТОНА ПРИ ОДНОКРАТНОМ ДИНАМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ НАЧАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ОТ СТАТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Аннотация. Анализ представленных в научной литературе экспериментальных исследований указывает на то, что прочность и деформативность фибробетона при его динамическом догружении может зависеть от начального уровня напряжений, вызванных предварительно приложенной статической нагрузкой. В связи с этим целью данного исследования являлось построение усовершенствованных моделей деформирования фибробетона эксплуатируемых фиброжелезобетонных конструкций несущих систем зданий и сооружений при их динамическом догружении с учетом нелинейно упругого закона деформирования материала на этапе нагружения статической нагрузкой, а также изменения параметров вязкого сопротивления в процессе нагружения. В качестве модели силового сопротивления фибробетона нагруженных фиброжелезобетонных конструкций при их динамическом догружении, вызванном аварийной ситуацией, принята модель Кельвина - Фойгта для упруго-вязкого тела. На основании принятой модели получено аналитическое решение дифференциального уравнения одноосного сжатия фибробетона при его однократном динамическом догружении с произвольного уровня действующих в нем начальных напряжений от предварительно приложенной статической нагрузки. Предложен шагово-итерационный подход к определению параметров диаграмм состояния фибробетона при статико-динамических режимах нагружения. Анализ полученных зависимостей между напряжениями и деформациями показывает, что увеличению уровня начальных напряжений, действующих в сжатом бетонном элементе на момент приложения к нему динамической нагрузки, приводит к снижению динамической прочности бетона при одних и тех же параметрах воздействия.

Ключевые слова: фибробетон, динамическое воздействие, деформационная модель, динамическое упрочнение, упруго-вязкое тело, модель Кельвина-Фойгта, нелинейная упругость, статическое нагружение.

S.Yu. SAVIN^{1,2}, M.D. MEDYANKIN¹, M.Z. SHARIPOV¹

¹National Research Moscow State University of Civil Engineering (MGSU), Moscow, Russia

²Research Institute of Construction Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russia

DEFORMATION OF FIBER CONCRETE UNDER A SINGLE DYNAMIC IMPACT TAKING INTO ACCOUNT THE INFLUENCE OF INITIAL STRESSES FROM THE STATIC LOAD

Abstract. An analysis of the experimental studies presented in the scientific literature indicates that the strength and deformability of fiber-reinforced concrete under dynamic additional loading may depend on the initial level of stresses caused by a preliminarily applied static load. In this regard, the purpose of this study was to build improved models of fiber-reinforced concrete deformation of operated fiber-reinforced concrete structures of bearing systems of buildings and structures during their dynamic additional loading, taking into account the nonlinearly elastic law of material deformation at the stage of loading with a static load, as well as changes in the parameters of viscous resistance during loading. As a model of the force resistance of fiber-reinforced concrete of loaded

© Савин С.Ю., Медянкин М.Д., Шарипов М.З., 2022

fiber-reinforced concrete structures during their dynamic additional loading caused by an emergency situation, the Kelvin-Voigt model for an elastic-viscous body was adopted. On the basis of the adopted model, an analytical solution of the differential equation of uniaxial compression of fiber-reinforced concrete was obtained under its single dynamic additional loading from an arbitrary level of initial stresses acting in it from a previously applied static load. A step-iterative approach to determining the parameters of state diagrams of fiber-reinforced concrete under static-dynamic loading conditions is proposed. An analysis of the obtained dependences between stresses and strains shows that an increase in the level of initial stresses acting in a compressed concrete element at the moment a dynamic load is applied to it leads to a decrease in the dynamic strength of concrete with the same impact parameters.

Keywords: *fiber-reinforced concrete, dynamic action, deformation model, dynamic hardening, elastic-viscous body, Kelvin-Voigt model, nonlinear elasticity, static loading.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Byfield M., Paramasivam S. Murrah Building Collapse: Reassessment of the Transfer Girder // J. Perform. Constr. Facil. 2012. Vol. 26. № 4. P. 371–376.
2. Tagel-Din H., Rahman N.A. Simulation of the Alfred P. Murrah federal building collapse due to blast loads // AEI 2006 Build. Integr. Solut. - Proc. 2006 Archit. Eng. Natl. Conf. 2006. Vol. 2006. P. 32.
3. Sasani M., Sagioglu S. Progressive Collapse Resistance of Hotel San Diego // J. Struct. Eng. 2008. Vol. 134, № 3. P. 478–488.
4. Федорова Н.В., Кореньков П.А. Статико-динамическое деформирование монолитных железобетонных каркасов зданий в запредельных состояниях // Строительство и реконструкция. 2016. № 6 (68). С. 90–100.
5. Kolcunov V.I., Tuyen V.N., Korenkov P.A. Deformation and Failure of a Monolithic Reinforced Concrete Frame under Accidental Actions // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Institute of Physics Publishing, 2020. Vol. 753. № 3.
6. Баженов Ю.М. Бетон при динамическом нагружении. М. : Стройиздат, 1970. 271 с.
7. Гениев Г.А. Метод определения динамических пределов прочности бетона // Бетон и железобетон. 1998. № 1. С. 18–19.
8. Nam J.W. et al. Analytical study of finite element models for FRP retrofitted concrete structure under blast loads // Int. J. Damage Mech. 2009. Vol. 18, № 5. P. 461–490.
9. Yu W., Jin L., Du X. Influence of pre-static loads on dynamic compression and corresponding size effect of concrete: Mesoscale analysis // Constr. Build. Mater. 2021. Vol. 300. P. 124302.
10. Радченко П.А., Батуев С.П., Плевков В.С., Радченко А.В. Моделирование разрушения железобетонных конструкций при ударных нагрузках // Строительство и реконструкция. 2015. № 6 (62). С. 40–48.
11. Плевков В.С., Уткин Д.Г. Работа сталефиброжелезобетонных элементов при кратковременном динамическом нагружении // Известия вузов. Строительство. 2015. № 6 (678). С. 95–103.
12. Афанасьева С.А., Белов Н.Н., Копаница Д.Г., Югов Н.Т., Югов А.А. Разрушение бетонных и железобетонных плит при высокоскоростном ударе и взрыве // Доклады академии наук. 2005. № 2 (401). С. 185–188.
13. Белов Н.Н., Дзюба П.В., Кабанцев О.В., Копаница Д.Г., Югов А.А., Югов Н.Т. Математическое моделирование процессов динамического разрушения бетона // Механика твердого тела. 2008. № 2. С. 124–133.
14. Уткин Д.Г. Прочность изгибаемых железобетонных элементов с зонным армированием из стальной фибры // Строительство и реконструкция. 2021. № 1 (93). С. 85–95.
15. Колчунов В.И., Клюева Н.В., Андросова Н.Б., Бухтиярова А.С. Живучесть зданий и сооружений при запроектных воздействиях. М. : Издательство АСВ, 2014. 208 с.
16. Цветков К.А., Баженова А.В., Безгодов И.М. Проблема построения диаграммы деформирования бетона при однократном динамическом воздействии с учетом влияния предварительных напряжений от действия статической нагрузки // Вестник МГСУ. 2012. № 7. С. 152–158.
17. Федорова Н.В., Медянкин М.Д., Бушова О.Б. Определение параметров статико-динамического деформирования бетона // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 1. С. 4–11.
18. Федорова Н.В., Медянкин М.Д., Бушова О.Б. Экспериментальное определение параметров статико-динамического деформирования бетона при режимном нагружении // Строительство и реконструкция. 2020. № 3 (89). С. 72–81.
19. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. М.: Издательство “Наука,” 1971. 576 р.
20. Гениев Г.А., Кисюк В.Н., Тюпин Г.А. Теория пластичности бетона и железобетона. М. : Стройиздат, 1974. 316 с.

REFERENCES

1. Byfield M., Paramasivam S. Murrah Building Collapse: Reassessment of the Transfer Girder // J. Perform. Constr. Facil. 2012. Vol. 26. No. 4. P. 371–376.
2. Tagel-Din H., Rahman N.A. Simulation of the Alfred P. Murrah federal building collapse due to blast loads // AEI 2006 Build. integration Solut. - Proc. 2006 Architect. Eng. Natl. Conf. 2006 Vol. 2006. P. 32.
3. Sasani M., Sagioglu S. Progressive Collapse Resistance of Hotel San Diego // J. Struct. Eng. 2008 Vol. 134, No. 3. P. 478–488.
4. Fedorova N.V., Korenkov P.A. Static and dynamic deformation of monolithic reinforced concrete frame building in ultimate limit and beyond limits states // Stroit. i reconstruction. 2016. Vol. 6. No. 68. P. 90–100.
5. Kolcunov V.I., Tuyen V.N., Korenkov P.A. Deformation and Failure of a Monolithic Reinforced Concrete Frame under Accidental Actions // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Institute of Physics Publishing, 2020. Vol. 753. no. 3.
6. Bazhenov Yu.M. Concrete under dynamic loading. Moscow: Stroyizdat, 1970. 271 p.
7. Geniev G.A. Method for determining the dynamic strength limits of concrete // Beton i zhelezobeton. 1998. No. 1. P. 18–19.
8. Nam J.W. et al. Analytical study of finite element models for FRP retrofitted concrete structure under blast loads // Int. J. Damage Mech. 2009 Vol. 18, No. 5. P. 461–490.
9. Yu W., Jin L., Du X. Influence of pre-static loads on dynamic compression and corresponding size effect of concrete: Mesoscale analysis // Constr. Build. mater. 2021 Vol. 300. P. 124302.
10. Radchenko P.A. et al. Modeling the destruction of reinforced concrete structures under impact loads // Build. reconstruction. 2015. Vol. 6, No. 62. P. 40–48.
11. Plevkov V.S., Utkin D.G. The work of steel fiber reinforced concrete constructions in the short-term dynamic loading // Izvestia vuzov. Stroitelstvo. 2015. Vol. 678, No. 6. P. 95–103.
12. Afanas'eva S.A. et al. Destruction of concrete and reinforced concrete slabs during high-speed impact and explosion // Reports of the Academy of Sciences. 2005 Vol. 401, No. 2. P. 185–188.
13. Belov N.N. et al. Mathematical modeling of the processes of dynamic destruction of concrete // Solid Body Mechanics. 2008. No. 2. P. 124–133.
14. Utkin D.G. Strength of bent reinforced concrete elements with zone reinforcement made of steel fiber // Build. Reconstr. 2021 Vol. 93, No. 1. P. 85–95.
15. Kolchunov V.I. et al. Zhivuchest' zdaniy i sooruzheniy pri zaproektnyh vozdeystviyah [Survivability of buildings and structures under beyond design basis impacts]. Moscow: ASV Publishing, 2014. 208 p.
16. Tsvetkov K.A., Bazhenova A.V., Bezgodov I.M. The problem of constructing a concrete deformation diagram under a single dynamic impact, taking into account the influence of prestresses from the action of a static load. Vestnik MGSU. 2012. No. 7. P. 152–158.
17. Fedorova N.V., Medyankin M.D., Bushova O.B. Determination of Static-Dynamic Deformation Parameters of Concrete // Promyshlennoe i Grazhdanskoe Stroit. 2020. No. 1. P. 4–11.
18. Fedorova N.V., Medyankin M.D., Bushova O.B. Experimental determination of the parameters of the static-dynamic deformation of concrete under loading modal // Build. Reconstr. 2020 Vol. 89, No. 3. P. 72–81.
19. E. Kamke, Handbook of ordinary differential equations. Moscow: Nauka Publishing House, 1971. 576 p.
20. Geniyev G.A., Kisyuk V.N., Tyupin G.A. Teoriya plastichnosti betona i zhelezobetona [Plasticity theory of concrete and reinforced concrete]. Moscow: Stroyizdat, 1974. 316 p.

Информация об авторах:

Савин Сергей Юрьевич

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций. ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук», г. Москва, Россия, старший научный сотрудник.
E-mail: savinsyu@mgsu.ru

Медянкин Михаил Дмитриевич

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия, кандидат технических наук, преподаватель кафедры железобетонных и каменных конструкций.
E-mail: 412125453@mail.ru

Шарипов Манонходжа Зарифходжаевич

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия, аспирант кафедры железобетонных и каменных конструкций.
E-mail: manonkhoja.sh@bk.ru

Information about authors:

Savin Sergey Yu.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
candidate of technical science, associate professor of the department of Reinforced Concrete and Masonry Structures.
Research Institute of Building Physics of RAACS, Moscow, Russia,
senior researcher.

E-mail: savinsyu@mgsu.ru

Medyankin Mikhail D.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
candidate of technical science, lecturer, department of Reinforced Concrete and Masonry Structures.

E-mail: 412125453@mail.ru

Sharipov Manonkhodzha Z.

National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
postgraduate student of the department of Reinforced Concrete and Masonry Structures.

E-mail: manonkhoja.sh@bk.ru