

А.В. АЛЕКСЕЙЦЕВ¹, Н.С. КУРЧЕНКО¹, С.А. САЗОНОВА¹

¹ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, Россия

ДИНАМИКА ФИБРОЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПЛИТЫ НА ПОДАТЛИВЫХ ОПОРАХ ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ ПО ПЛОЩАДИ ИМПУЛЬСНОЙ НАГРУЗКЕ

Аннотация. Статья посвящается численному анализу напряженно-деформированного состояния фиброжелезобетонных плитных конструкций при аварийных динамических воздействиях. Рассматривается сборная плита покрытия защитного сооружения, заглубленного в грунт. Ударные воздействия на плиту считаются импульсными. Причиной их возникновения полагается взрыв на поверхности земли или иной импульс, передающийся через грунт на конструкцию. Исследуется изменение во времени компонентов НДС в бетоне и арматуре при изменении податливости опор. Рассматривается возможность жесткого или упругоэластического деформирования опор при ударном воздействии. На конкретном примере показана эффективность предлагаемого подхода при симметричном нагружении импульсной нагрузкой с учетом переменной площади пятна удара. Численное моделирование показало, что как при статическом, так и при динамическом догружении плита разрушается по фибробетону с образованием вантового механизма, при этом сохраняя свойство живучести при обеспечении неразрушаемости арматуры. Показано, что использование податливых опор играет существенную роль в демпфировании колебаний и позволяет регулировать как уровень механической безопасности конструкции, так и ее материалоемкость. Установлена необходимость и актуальность определения фактических демпфирующих свойств конструкций рассматриваемого типа.

Ключевые слова: живучесть, импульсное воздействие, динамический анализ, демпфирование, численное моделирование, железобетонные конструкции, защитные сооружения.

A.V. ALEKSEYTSEV¹, N.S. KURCHENKO¹, S.A. SAZONOVA¹

¹Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

FIBRO REINFORCED CONCRETE PLATE DYNAMICS ON DEFORMABLE SUPPORTS WITH VARIABLE AREA OF BLAST LOAD

Abstract. The article is devoted to the numerical analysis of the stress-strain state of fiber reinforced concrete slab structures under emergency dynamic impacts. A prefabricated cover slab of a protective structure buried in the ground is considered. Shock effects on the slab are considered to be blast ones. An explosion at the ground surface or another impulse transmitted through the ground to the structure is assumed to be the cause of their occurrence. The change in time of the components of the stress-strain in concrete and reinforcement is investigated in case of change in the suppleness of the supports. The possibility of rigid or elastoplastic deformation of supports under impact action is considered.

By means of a concrete example, the efficiency of the suggested approach is demonstrated under symmetric loading by a blast load taking into account a variable shock spot area. Numerical modeling has shown that under both static and dynamic additional loading the slab fractures along the fibro concrete with the formation of a cable mechanism while preserving the survivability property of the reinforcement.

It is shown that the use of compliant supports plays an essential role in damping of vibrations and allows to regulate both the level of mechanical safety of the structure and its material capacity. The necessity and urgency of determining the actual damping properties of the structures of the considered type has been established.

Keywords: *survivability, impulse action, dynamic analysis, damping, numerical modeling, fibro reinforced concrete structures, protective structures.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колчунов В.И., Туен Ву.Н., Нижегородов Д.И. Динамический отклик конструктивной системы здания с конечным числом степеней свободы при особом воздействии // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. № 10. С. 1337-1345.
2. Savin S.Yu., Kolchunov V.I. Dynamic behavior of reinforced concrete column under accidental impact // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2021. Т. 17. No. 3. Pp. 120-131.
3. Трекин Н.Н., Крылов В.В. К вопросу о несущей способности железобетонных плит на продавливание при динамическом нагружении на объектах наземной космической инфраструктуры // Научный аспект. 2018. Т. 7. № 4. С. 771-778.
4. Федорова Н.В., Ильющенко Т.А., Медянкин М.Д., Инсафутдинов А.Р. Особенности динамических догрузений железобетонных элементов конструктивных систем при гипотетическом удалении одной из несущих конструкций и трещинообразовании // Строительство и реконструкция. 2019. № 2 (82). С. 72-80.
5. Li Y., Aoude H. Influence of steel fibers on the static and blast response of beams built with high-strength concrete and high-strength reinforcement. Eng. Struct. Elsevier, 2020. Vol. 221. Pp. 111031.
6. Zhang C., Abedini M., Mehrmashhadi J. Development of pressure-impulse models and residual capacity assessment of RC columns using high fidelity Arbitrary Lagrangian-Eulerian simulation. Eng. Struct. Elsevier, 2020. Vol. 224. Pp. 111219.
7. Momeni M. et al. Damage evaluation of H-section steel columns under impulsive blast loads via gene expression programming. Eng. Struct. Elsevier, 2020. Vol. 219. Pp. 110909.
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. Pp. 461-490.
9. Radchenko P., Batuev S., Radchenko A. Fracture of Protective Structures from Heavy Reinforcing Cement During Interaction with High-velocity Impactor. Journal of Siberian Federal University. Mathematics & Physics. 2021. No. 6(14). Pp. 779-786. doi:10.17516/1997-1397-2021-14-6-779-786
10. Тонких Г.П., Кумпяк О.Г., Галютдинов З.Р. Расчет прочности защитных сооружений гражданской обороны на податливых опорах в виде сминаемых вставок кольцевого сечения // Технологии гражданской безопасности. 2020. Т. 17. № 4 (66). С. 94-97.
11. Кумпяк О.Г., Галютдинов З.Р., Kokorin D.N. Strength of concrete structures under dynamic loading В сборнике: AIP Conference Proceedings. Proceedings of the II All-Russian Scientific Conference of Young Scientists "Advanced Materials in Technology and Construction". 2016. С. 070006.
12. Galyautdinov Z.R. Deformation of reinforced concrete slabs on yielding supports under short-time dynamic loading // В сборнике: AIP Conference Proceedings. 2017. С. 040002.
13. Тамразян А.Г., Алексейцев А.В. Эволюционная оптимизация нормально эксплуатируемых железобетонных балочных конструкций с учетом риска аварийных ситуаций // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 9. С. 45-50.
14. Tamrazyan A., Alekseytsev A. Evolutionary optimization of reinforced concrete beams, taking into account design reliability, safety and risks during the emergency loss of supports // В сборнике: E3S Web of Conferences. 22nd International Scientific Conference on Construction the Formation of Living Environment, FORM 2019. С. 04005.
15. Alekseytsev A.V. Mechanical safety of reinforced concrete frames under complex emergency actions // Magazine of Civil Engineering. 2021. No. 3 (103). С. 10306.
16. Гениев Г.А. Об оценке динамических эффектов в стержневых системах из хрупких материалов // Бетон и железобетон. 1993. № 3. С. 25.
17. Чернуха Н.А. Особенности расчета сооружений на взрывные воздействия в среде SCAD // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 1. С. 12-22.
18. Mkrttychev O.I.V., Savenkov An.Y. Modeling of blast effects on underground structure // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2019. No. 15(4). Pp. 111-122.
19. Castedo R., Natale M., López L.M., Sanchidrián J.A., Santos A.P., Navarro J., Segarra P. Estimation of Jones-Wilkins-Lee parameters of emulsion explosives using cylinder tests and their numerical validation // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences Volume 112, December 2018. Pp. 290-301.

20. Алексейцев А.В. Поиск рациональных параметров строительных конструкций на основе многокритериальной эволюционной оптимизации // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 7. С. 18-22.
21. Серпик И.Н., Курченко Н.С. Об определении рациональных параметров систем адаптации металлических рам к проектным воздействиям // Строительство и реконструкция. 2012. № 6 (44). С. 56-62.

REFERENCES

1. Kolchunov V.I., Tuyen Vu.N., Nizhegorodov D.I. Dinamicheskiy otklik konstruktivnoy sistemy zda-niya s konechnym chislom stepeney svobody pri osobom vozdeystvii // Vestnik MGSU. 2021. T. 16. No. 10. Pp.1337-1345.
2. Savin S.Yu., Kolchunov V.I. Dynamic behavior of reinforced concrete column under accidental impact // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2021. T. 17. No. 3. Pp.120-131.
3. Trekin N.N., Krylov V.V. K voprosu o nesushchey sposobnosti zhelezobetonnykh plit na prodavliwa-niye pri dinamicheskom nagruzenii na ob"yektakh nazemnoy kosmicheskoy infrastruktury // Nauchnyy aspekt. 2018. T. 7. No. 4. Pp. 771-778.
4. Fedorova N.V., Il'yushchenko T.A., Medyankin M.D., Insafutdinov A.R. Osobennosti dinamicheskikh dogruzheniy zhelezobetonnykh elementov konstruktivnykh sistem pri gipoteticheskom udalenii odnoy iz ne-sushchikh konstruktivnykh i treshchinoobrazovaniy // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2019. No. 2 (82). Pp. 72-80.
5. Li Y., Aoude H. Influence of steel fibers on the static and blast response of beams built with high-strength concrete and high-strength reinforcement. Eng. Struct. Elsevier, 2020. Vol. 221. Pp. 111031.
6. Zhang C., Abedini M., Mehrmashhadi J. Development of pressure-impulse models and residual capacity assessment of RC columns using high fidelity Arbitrary Lagrangian-Eulerian simulation. Eng. Struct. Elsevier, 2020. Vol. 224. Pp. 111219.
7. Momeni M. et al. Damage evaluation of H-section steel columns under impulsive blast loads via gene expression programming. Eng. Struct. Elsevier, 2020. Vol. 219. Pp. 110909.
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. Pp. 461–490.
9. Radchenko P., Batuev S., Radchenko A. Fracture of Protective Structures from Heavy Reinforcing Cement During Interaction with High-velocity Impactor. Journal of Siberian Federal University. Mathematics & Physics. 2021. No. 6(14). Pp. 779-786. doi:10.17516/1997-1397-2021-14-6-779-786
10. Tonkikh G.P., Kumpyak O.G., Galyautdinov Z.R. Raschet prochnosti zashchitnykh sooruzheniy grazhdanskoj oborony na podatlivykh oporakh v vide sminayemykh vstavok kol'tsevogo secheniya // Tekhnologii grazhdanskoj bez-opasnosti. 2020. T. 17. No. 4 (66). Pp. 94-97.
11. Kumpyak O.G., Galyautdinov Z.R., Kokorin D.N. Strength of concrete structures under dynamic loading V sbornike: AIP Conference Proceedings. Proceedings of the II All-Russian Scientific Conference of Young Scientists "Advanced Materials in Technology and Construction". 2016. Pp. 070006.
12. Galyautdinov Z.R. Deformation of reinforced concrete slabs on yielding supports under short-time dynamic loading // V sbornike: AIP Conference Proceedings. 2017. Pp. 040002.
13. Tamrazyan A.G., Alekseytsev A.V. Evolyutsionnaya optimizatsiya normal'no ekspluatiruyemykh zhelezobetonnykh balochnykh konstruktivnykh sistem s uchetom riska avariynykh situatsiy // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. 2019. No. 9. Pp. 45-50.
14. Tamrazyan A., Alekseytsev A. Evolutionary optimization of reinforced concrete beams, taking into account design reliability, safety and risks during the emergency loss of supports // V sbornike: E3S Web of Conferences. 22nd International Scientific Conference on Construction the Formation of Living Environment, FORM 2019. P. 04005.
15. Alekseytsev A.V. Mechanical safety of reinforced concrete frames under complex emergency actions // Magazine of Civil Engineering. 2021. No. 3 (103). P. 10306.
16. Geniyev G.A. Ob otsenke dinamicheskikh effektiv v sterzhnevnykh sistemakh iz khрупkikh materialov // Beton i zhelezobeton. 1993. No. 3. P. 25.
17. Chernukha N.A. Osobennosti rascheta sooruzheniy na vzyryvnyye vozdeystviya v srede SCAD // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal. 2014. No. 1. Pp. 12-22.
18. Mkrtychev O.I., Savenkov An.Y. Modeling of blast effects on underground structure // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2019. No. 15(4). Pp. 111-122.
19. Castedo R., Natale M., López L.M., Sanchidrián J.A., Santos A.P., Navarro J., Segarra P. Estimation of Jones-Wilkins-Lee parameters of emulsion explosives using cylinder tests and their numerical validation // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences Volume 112, December 2018. Pp. 290-301.
20. Alekseytsev A.V. Poisk ratsional'nykh parametrov stroitel'nykh konstruktivnykh sistem na osnove mnogokriterial'noy evolyutsionnoy optimizatsii // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. 2019. No. 7. Pp. 18-22.
21. Serpik I.N., Kurchenko N.S. Ob opredelenii ratsional'nykh parametrov sistem adaptatsii metal-licheskih ram k zaproyektnym vozdeystviyam // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2012. No. 6 (44). Pp. 56-62.

Информация об авторах:

Алексейцев Анатолий Викторович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, Россия,
доктор технических наук, доцент, доцент кафедры «Железобетонные и каменные конструкции».
E-mail: aalexw@mail.ru

Курченко Наталья Сергеевна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, Россия,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Железобетонные и каменные конструкции».
E-mail: ms.kurchenko@mgsu.ru

Сазонова Светлана Андреевна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»,
г. Москва, Россия,
студент, специальность 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений».
E-mail: s.sazonovaa17@mail.ru

Information about authors:

Alekseytsev Anatoliy V.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
doctor of engineering, associate professor of department «Concrete and reinforced concrete structures».
E-mail: aalexw@mail.ru

Kurchenko Natalia S.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
Ph.D of Engineering, associate professor of department «Concrete and reinforced concrete structures».
E-mail: ms.kurchenko@mgsu.ru

Sazonova Svetlana An.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
student, specialty 08.05.01 «Construction of unique buildings and structures».
E-mail: s.sazonovaa17@mail.ru