

С.О. КУРНАВИНА¹, И.В. ЦАЦУЛИН²

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

²ООО «Институт «Мосинжпроект», г. Москва, Россия

ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ СЕЧЕНИЙ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ДЕЙСТВИИ НАГРУЗОК БОЛЬШОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

***Аннотация.** Многие здания подвергаются особым я нагрузкам большой интенсивности. При расчете железобетонных конструкций, как на особые нагрузки аварийного характера, так и на сейсмические воздействия, в них уже на стадии проектирования предполагается развитие пластических деформаций в арматуре. Проведены экспериментальные исследования влияния пластических деформаций арматуры на напряженно-деформированное состояние нормальных сечений изгибаемых железобетонных элементов. По результатам эксперимента установлено, что гипотеза плоских сечений соблюдается не во всех случаях. Более точной является аппроксимация эпюры деформаций по высоте сечения билинейной зависимостью, характер которой меняется в процессе нагружения, т.е. гипотеза билинейных сечений. Определена зависимость коэффициента A гипотезы билинейных сечений от коэффициента пластичности по деформациям арматуры для балок с одиночным и симметричным армированием по результатам численных расчетов в конечно элементном программном комплексе Abaqus. Проведено сравнение полученных численных результатов с экспериментальными данными, которое показало их удовлетворительную сходимость. Максимальное отклонение не превышает 13 %. Дана оценка влияния коэффициента гипотезы билинейных сечений на величину предельного коэффициента пластичности по кривизне, соответствующего началу разрушения бетона сжатой зоны.*

***Ключевые слова:** пластические деформации, геометрическая гипотеза, особые воздействия.*

S.O. KURNAVINA¹, I.V. TSATSULIN²

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

²Mosinzhproekt Institute LLC, Moscow, Russia

FEATURES OF SECTIONS DEFORMATION OF BEND REINFORCED CONCRETE ELEMENTS UNDER LOADS OF HIGH INTENSITY

***Abstract.** Many buildings are exposed to special effects of high intensity. When calculating reinforced concrete constructions both for special emergency loads and for seismic loads, the development of plastic strains in reinforcement is supposed just at the design stage. The experimental investigation of plastic deformations influence of the stress-strain state of normal sections of bending reinforced concrete elements has been made. According to the results of experiments, it has been found, that the hypothesis of plane sections is not observed in all cases. The approximation of deformations graph along the cross-section height by the bilinear function, variable during the load process, i.e. hypothesis of bilinear sections, is more accurate. The dependence of coefficient A of the hypothesis of bilinear sections on the coefficient of plasticity for reinforcement deformations has been determined based on the results of numerical calculations of beams with symmetric reinforcement and beams without compressed reinforcement in a finite element software package Abaqus. The comparison of obtained numerical results with experimental data has been made, which has shown their satisfactory*

convergence. The maximum deviation does not exceed 13 %. The assessment of influence of coefficient of hypothesis of bilinear sections on the limit value of coefficient of plasticity for curvature, corresponding to the beginning of the destruction of compressed area of concrete is given.

Keywords: *plastic strains, geometric hypothesis, special effects.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bermejo M., Goicolea J.M., Gabaldon F., Santos A. Impact and explosive loads on concrete buildings using shell and beam type elements, COPDYN 2011, 3rd ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamic and Earthquake Engineering // Corfu, Greece, 2011. Pp. 1-14.
2. Невская Е. Основные методы оценки параметров взрывных волн при аварийных взрывах. Принципы проектирования взрывоустойчивых зданий и сооружений // Безопасность труда в промышленности. 2017. № 9. С. 20-29.
3. Попов Н.Н., Расторгуев Б.С., Забегаев А.В. Расчет конструкций на динамические специальные нагрузки. М: Высшая школа, 1992. 319 с.
4. Бирбрайер А.Н., Роледер А.Ю. Экстремальные воздействия на сооружения // Санкт-Петербург: Издательство Политехнического университета. 2009. 587 с.
5. Расторгуев Б.С., Плотников А.И., Хуснутдинов Д.З. Проектирование зданий и сооружений при аварийных взрывных воздействиях. Москва: АСВ, 2007. 152 с.
6. Anderson S., Karlsson H. Structural response of reinforced concrete beams subjected to explosions // Gothenburg, Sweden: Chalmers University of technology. 2012. 236 p.
7. Ванус Д.С. К оценке безопасности железобетонных плит, опертых по контуру при действии особой динамической нагрузки в виде мгновенного импульса // Технология текстильной промышленности. 2018. № 2. С. 233-238.
8. Расторгуев Б.С., Ванус Д.С. Оценка безопасности железобетонных конструкций при чрезвычайных ситуациях техногенного характера // Строительство и реконструкция. 2014. № 6. С. 83-89.
9. Шульгин В.Н., Ларионов В.И. Динамический расчет изгибаемых конструкций защитных сооружений в пластической стадии // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2007. № 4. С. 31-34.
10. СП 88.13330.2014 «Защитные сооружения гражданской обороны. Актуализированная редакция СНиП II-11-77*». ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ) и ОАО «ЦНИИПромзданий», Москва, 2014.
11. Радайкин О.В. Теоретические основы диаграммного метода расчета стержневых элементов из армированного бетона // Строительство и реконструкция. 2020. № 6. С. 26-42.
12. Жарницкий В.И., Беликов А.А., Курнавина С.О. Экспериментальные исследования сопротивления железобетонных балок перерезывающей силе // Промышленное и гражданское строительство. 2011. № 3. С. 18-20.
13. Крылов А.С. Прочность железобетонных балок с жесткой арматурой из высокопрочных бетонов: автореферат дис. кандидата технических наук: 05.23.01 / Крылов Алексей Сергеевич; [АО НИЦ «Строительство»]. Москва, 2019. 23 с.
14. Garnitstky V.I., Golda Yu.L., Kurnavina S.O. The evaluation of the seismic resistance of buildings and their constructions based on the dynamic calculation with regard to the elastic-plastic deformations of materials" in *Earthquake-resistant construction. Safety of structures* (Russian Association for Earthquake-Resistant Construction and Protection from Natural and Man-made Impacts (RUSS), Moscow: 1999). Vol. 4. Pp. 7-8.
15. Жарницкий В.И., Забегаев А.В. Развитие теории сейсмостойкости железобетонных конструкций // Бетон на рубеже третьего тысячелетия: сб. докладов 1-й Всероссийской конференции по проблемам бетона и железобетона. Т.2. М: 2001. С. 665-658.
16. Курнавина С.О., Цацулин И.В. Влияние пластических деформаций на высоту несомкнутой остаточной трещины в сжатой зоне бетона // Строительство и реконструкция. 2020. № 5(91). С. 13-21. doi:10.33979/2073-7416-2020-91-5-13-21
17. Kurnavina S.O., Tsatsulin I.V. The influence of open cracks in compressed area of concrete on behaviour of bending elements of frame buildings under special alternating loads// Journal of Physics: Conference Series : International Scientific Conference on Modelling and Methods of Structural Analysis 2019, MMSA 2019, Moscow, 13–15 ноября 2019 года. – Moscow: Institute of Physics Publishing, 2020. P. 012037. doi:10.1088/1742-6596/1425/1/012037
18. Kabanzev O., Mitrovic B. Deformation and power characteristics monolithic reinforced concrete systems in the mode of progressive collapse / MATEC Web of Conferences 251, 02047 (2018) IPICSE-2018-<https://doi.org/10.1051/mateconf/201825102047>
19. Кабанцев О.В., Усеинов Э.С., Шарипов Ш. О методике определения коэффициента допускаемых повреждений сейсмостойких конструкций // Вестник ТГАСУ. 2016. № 2. С. 117-129.

REFERENCES

1. Bermejo M., Goicolea J.M., Gabaldon F. A. Santos «Impact and explosive loads on concrete buildings using shell and beam type elements», COPDYN 2011, 3rd ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamic and Earthquake Engineering // Corfu, Greece, 2011. Pp. 1-14.
2. Nevskaya E. Osnovniye otsenki parametrov vzrивnich voln pri avariynikh vzrивach // Bezopasnost truda v promyshlennosti. 2017. No. 9. Pp. 20-29.
3. Popov N.N., Ratoguyev B.S., Zabegayev A.V. «Raschet konstruktsiy na dinamicheskiye nagruzki». Moscow: Visshaya shkola, 1992. 319 p. (rus)
4. Birbrayer A.N., Roleder A.Iu. Tkstremal'niyy vozdeystviya na sooruzheniya. Saint Petersburg: Izdatel'stvo Politekhnicheskogo universiteta, 2009. 587 p. (rus)
5. Ratoguyev B.S., Plotnikov A.I., Husnutdinov D.Z. Proektirovaniye zdaniy I sooruzheniy pri avariynikh vzrивnich vozdeysviyach. Moscow: ASV, 2007. 152 p. (rus)
6. Anderson S., Karlsson H. Structural response of reinforced concrete beams subjected to explosions. Gothenburg, Sweden: Chalmers University of technology, 2012. 236 p. (eng)
7. Vanus D.S. K otsenke bezopasnosti zhelezobetonnykh plit, opertykh po konturu pri deystvii osoboy dinamicheskoy nagruzki v vide mgnovennogo impul'sa // Textile industry technology. 2018. No. 2. Pp. 233-238.
8. Ratoguyev B.S., Vanus D.S. Otsenka bezopasnosti zhelezobetonnykh konstuktsiy pri chrezvychaynykh situatsiyakh tekhnogennogo kharaktera // Building and Reconstruction. 2014. No. 6. Pp. 83-89.
9. Shul'gin V.N., Larionov V.I. Dinamicheskyy raschet izgibaemikh konstruktsiy zashchitnykh sooruzheniy v plasticheskoy stadii // Construction mechanics of engineering structures and structures. 2007. No. 4. Pp. 31-34.
10. SP 88.13330.2014 «Zashchitniye sooruzheniya grazhdanskoy oborony. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIP II-11-77*». FGBU VNII GOCHS (FC), Moscow, 2014
11. Radaykin O.V. Teoreticheskiye osnovy diagrammnogo metoda rascheta sterzhnevnykh elementov iz armirovannogo betona // Stroitel'stvo i rekonstruktsiya. 2020. No. 6. Pp. 26-42.
12. Garnitsky V.I., Belikov A.A., Kurnavina S.O. Eksperimentalniye issledovaniya soprotivleniya gelezobetonnykh balok pererezivayushey sile // Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. 2011. No. 3. Pp. 18-20.
13. Krylov A.S. Prochnost' zhelezobetonnykh balok s zhestkoy armaturoy iz vysokoprochnykh beronov: abstract of the dissertation of the Candidate of technical sciences: 05.23.01 / [AO NITS «Construction»]. Moscow, 2019. 23 p.
14. Garnitsky V.I., Golda Yu.L., Kurnavina S.O. The evaluation of the seismic resistance of buildings and their constructions based on the dynamic calculation with regard to the elastic-plastic deformations of materials" in *Earthquake-resistant construction. Safety of structures* (Russian Association for Earthquake-Resistant Construction and Protection from Natural and Man-made Impacts (RUSS), Moscow: 1999). Vol. 4. Pp. 7-8.
15. Garnitsky V.I., Zabegev A.V. Razvitie teorii seismostoykosti gelezobetonnykh konstuktsiy // Proceedings of the I All Russian Conference on concrete and reinforced concrete. Moscow, 2001. Vol. 2. Pp. 655-658.
16. Kurnavina S.O., Tsatsulin I.V. Vliyaniye plasticheskikh deformatsiy na vysotu nesomknutoy ostatochnoy treshchiny v szhatoy zone betona // Building and Reconstruction. 2020. No. 5(91). Pp. 13-21. doi:10.33979/2073-7416-2020-91-5-13-21
17. Kurnavina S.O., Tsatsulin I.V. The influence of open cracks in compressed area of concrete on behaviour of bending elements of frame buildings under special alternating loads // Journal of Physics: Conference Series : International Scientific Conference on Modelling and Methods of Structural Analysis 2019, MMSA 2019, Moscow, 13–15 ноября 2019 года. – Moscow: Institute of Physics Publishing, 2020. P. 012037. doi:10.1088/1742-6596/1425/1/012037
18. Kabanzev O., Mitrovic B. Deformation and power characteristics monolithic reinforced concrete systems in the mode of progressive collapse / MATEC Web of Conferences 251, 02047 (2018) IPICSE-2018-<https://doi.org/10.1051/mateconf/201825102047>
19. Kabantsev O.V., Useinov E.S., Sharipov S. O metodike opredeleniya koeffitsienta dopuskayemikh povregdeniy seismostoykikh konstruktsiy [Determination of allowable damage factor of antiseismic structures] // Vestnik TGASU, 2016. No. 2. Pp. 117-126.

Информация об авторах:

Курнавина Софья Олеговна

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры Железобетонных и каменных конструкций.

E-mail: sofyK@yandex.ru

Цацулин Илья Владимирович

ООО «Институт «Мосинжпроект», г. Москва, Россия, руководитель группы.

E-mail: ilya.vladimirovich.t@mail.ru

Information about authors:

Kurnavina Sofya Ol.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia, candidate of technical sciences, docent, associate professor of the department of reinforced concrete and stone structures.

E-mail: sofyK@yandex.ru

Tsatsulin Ilya Vladimirovich

Mosinzhproekt Institute LLC, Moscow, Russia, team leader.

E-mail: ilya.vladimirovich.t@mail.ru