

Н.В. ФЕДОРОВА², О.Б. БУШОВА¹, В.И. КОЛЧУНОВ^{1,2}

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия

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

РАСЧЕТ КОНСТРУКТИВНО НЕЛИНЕЙНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РАМ ПРИ ИХ ХРУПКОМ РАЗРУШЕНИИ ПО НАКЛОННОМУ СЕЧЕНИЮ

Аннотация. Построена пространственная расчетная модель сложноподпряженного железобетонного элемента при совместном действии поперечной силы и изгибающего момента. Получены аналитические зависимости для расчета поперечного армирования такого элемента наклонными (поперечными) стержнями при рассматриваемом напряженном состоянии. Прямоугольное сечение приводится к эквивалентному коробчатому сечению с двумя случаями положения сжатой зоны. Расчетная модель достаточно полно отражает физические явления силового сопротивления ригелей железобетонных рам в предельных и запредельном состояниях установленные экспериментально. Проведены результаты численных исследований конструкций рам, поперечное армирование которых принято в виде наклонных или перекрестных наклонных стержней при использовании предложенной и других моделей расчета. Сравнительный анализ полученных результатов показал эффективность более строгого учета совместного действия изгибающих моментов и поперечных сил и возможность за счет этого заметного снижения расчетного поперечного армирования железобетонных конструкций при рассматриваемом напряженном состоянии. Предложенные аналитические зависимости могут быть использованы для расчета железобетонных ригелей конструктивно и физически нелинейных рам при их хрупком разрушении по наклонному сечению в запредельных состояниях.

Ключевые слова: железобетонная рама, пространственная расчетная схема, поперечная сила, наклонное сечение, деформирование, особое воздействие, запредельное состояние.

N.V. FEDOROVA², O.B. BUSHOVA¹, V.I. KOLCHUNOV^{1,2}

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «National 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

CALCULATION OF STRUCTURALLY NONLINEAR REINFORCED CONCRETE FRAMES DURING THEIR DESTRUCTION ALONG AN INCLINED SECTION

Abstract. A spatial calculation model of a complexly stressed reinforced concrete element is constructed under the combined action of a transverse force and a bending moment. Analytical dependences are obtained for calculating the transverse reinforcement of such an element with inclined (transverse) rods under the stress state under consideration. The rectangular section is reduced to an equivalent box section with two cases of the compressed zone position. The computational model sufficiently fully reflects the physical phenomena of the force resistance of the crossbars of reinforced concrete frames in the limiting and exorbitant states established experimentally. The results of numerical studies of frame structures, the transverse reinforcement of which is accepted in the form of inclined or cross inclined rods when using the proposed and other calculation models, are carried out. A comparative analysis of the results obtained showed the effectiveness of a stricter account of the

combined action of bending moments and transverse forces and the possibility of a noticeable reduction in the calculated transverse reinforcement of reinforced concrete structures under the stress state under consideration due to this. The proposed analytical dependences can be used to calculate reinforced concrete crossbars of structurally and physically nonlinear frames with their brittle destruction along an inclined section in exorbitant states.

Keywords: reinforced concrete frame, spatial design scheme, transverse force, inclined section, deformation, special impact, beyond condition.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алмазов В.О., Као Зуй Кхой. Динамика прогрессирующего разрушения монолитных многоэтажных каркасов. М.: АСВ, 2013. 128 с.
2. Еремеев П.Г. Методы проектирования на прогрессирующее обрушение: гармонизация российских и международных нормативных документов // Промышленное и гражданское строительство. 2022. № 4. С. 23-28.
3. Федорова Н.В., Фан Динь Гуок, Нгуен Тхи Чанг. Экспериментальные исследования живучести железобетонных рам с ригелями, усиленными косвенным армированием // Строительство и реконструкция. 2020. № 1. С. 92-100.
4. Ильющенко Т.А., Колчунов В.И., Федоров С.С. Трещиностойкость преднапряженных железобетонных рамно-стержневых конструкций при особых воздействиях // Строительство и реконструкция. 2021. № 1. С. 74-84.
5. Ву Нгок Туен Исследование живучести железобетонной конструктивно нелинейной рамно-стержневой системы каркаса многоэтажного здания в динамической постановке // Строительство и реконструкция. 2020. № 4. С.73–84.
6. Федорова Н. В., Халина Т.А. Исследование динамических догрузений в железобетонных конструктивных системах при внезапных структурных перестройках// Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 8. С. 32-36.
7. Alogla K., Weekes L., Augusthus-Nelson L. A new mitigation scheme to resist progressive collapse of RC structures // Construction and Building Materials. 2016. No. 125. Pp. 533–545.
8. Alshaikh I. M. H. [и др.]. Progressive collapse of reinforced rubberised concrete: Experimental study // Construction and Building Materials. 2019. No. 226. Pp. 307–316.
9. Li J., Hao H. Numerical study of structural progressive collapse using substructure technique // Engineering Structures. 2013. No. 52. Pp.101–113.
10. Xuan W., Wang L., Liu C., Xing G., Zhang L., Chen H. Experimental and theoretical investigations on progressive collapse resistance of the concrete-filled square steel tubular column and steel beam frame under the middle column failure scenario // Shock and Vibration. 2019. Vol. 2019. Pp. 1–12.
11. Lin K., Lu X., Li Y., Guan H. Experimental study of a novel multi-hazard resistant prefabricated concrete frame structure // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 2019. Vol. 119. Pp. 390–407
12. Колчунов В.И., Бушова О.Б., Кореньков П.А. Деформирование и разрушение железобетонных рам с ригелями, армированными наклонными стержнями, при особых воздействиях // Строительство и реконструкция. 2022. № 1. С. 18–28.
13. Колчунов В.И., Бушова О.Б. Деформирование железобетонных каркасов многоэтажных зданий в предельных состояниях при особых воздействиях// Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2022. № 4. С. 297-306.
14. Карпенко Н.И., Колчунов В.И., Колчунов В.И., Травуш В.И., Демьянов А.И. Деформирование железобетонных конструкций при изгибе с кручением// Строительные материалы. 2021. № 6. С. 47-56.
15. Федоров В.С., Фам Фук Тунг, Колчунов В.И. Расчет ширины раскрытия трещин в железобетонных конструкциях при центральном растяжении с учетом эффекта нарушения сплошности // Известия Орловского государственного технического университета. 2007. № 1(13). С. 29-34.
16. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. СНиП 52-01-2003 (с Изменением N 1). Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2019 г.
17. Колчунов В.И., Пимочкин В.Н. деформационный эффект при сопротивлении растянутого бетона между трещинами в железобетонном элементе (или вскрытие истинных причин расхождения внешних и внутренних усилий в поперечном сечении железобетонного элемента, рассчитываемого по теории В.И. Мурашева) // Известия орловского государственного технического университета. 2005. № 3-4. С. 49-55.

18. Колчунов В.И., Колчунов Вл.И., Федорова Н.В. Деформационные модели железобетона при особых воздействиях // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 8. С. 54-60.
19. Демьянов А.И., Наумов Н.В., Колчунов В.И. Методика определения параметров деформирования и трещиностойкости железобетонных составных конструкций, испытывающих кручение с изгибом // Известия вузов. 2018. № 7. С. 5-16.

REFERENCES

1. Almazov V.O., Kao Zui Khoi. Dynamics of progressive destruction of monolithic multi-storey frames. M.: DIA, 2013. 128 p.
2. Ereemeev P.G. Design methods for progressive collapse: harmonization of Russian and international regulatory documents // Industrial and civil construction. 2022. No. 4. Pp. 23-28.
3. Fedorova N.V., Fan Dinh Guok, Nguyen Thi Chang. Experimental studies of the survivability of reinforced concrete frames with crossbars reinforced with indirect reinforcement // Construction and reconstruction. 2020. No. 1. Pp. 92-100.
4. Ilyushenko T.A., Kolchunov V.I., Fedorov S.S. Crack resistance of prestressed reinforced concrete frame-rod structures under special influences // Construction and reconstruction. 2021. No. 1. Pp. 74-84.
5. Wu Ngoc Tuen Study of the survivability of a reinforced concrete structurally nonlinear frame-rod system of a multi-storey building frame in a dynamic formulation // Construction and Reconstruction. 2020. No. 4. Pp.73-84.
6. Fedorova N.V., Khalina T.A. Investigation of dynamic overloads in reinforced concrete structural systems during sudden structural rearrangements// Industrial and civil construction. 2017. No. 8. Pp. 32-36.
7. Alogla K., Weekes L., Augustus-Nelson L. A new mitigation scheme to resist progressive collapse of RC structures // Construction and Building Materials. 2016. No. 125. Pp. 533-545.
8. Alshaikh I. M. H. [et al.]. Progressive collapse of reinforced rubberized concrete: Experimental study // Construction and Building Materials. 2019. No. 226. Pp. 307-316.
9. Li J., Hao H. Numerical study of structural progressive collapse using substructure technique // Engineering Structures. 2013. No. 52. Pp.101-113.
10. Xuan W., Wang L., Liu C., Xing G., Zhang L., Chen H. Experimental and theoretical investigations on progressive collapse resistance of the concrete-filled square steel tubular column and steel beam frame under the middle column failure scenario // Shock and Vibration. 2019. Vol. 2019. Pp. 1-12.
11. Lin K., Lu X., Li Y., Guan H. Experimental study of a novel multi-hazard resistant prefabricated concrete frame structure // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 2019. Vol. 119. Pp. 390-407.
12. Kolchunov V.I., Bushova O.B., Korenkov P.A. Deformation and destruction of reinforced concrete frames with crossbars reinforced with inclined rods, under special influences // Construction and reconstruction. 2022. No. 1. Pp. 18-28.
13. Kolchunov V.I., Bushova O.B. Deformation of reinforced concrete frames of multi-storey buildings in extreme conditions under special influences// Construction mechanics of engineering structures and structures. 2022. No. 4. Pp. 297-306.
14. Karpenko N.I., Kolchunov V.I., Kolchunov V.I., Travush V.I., Demyanov A.I. Deformation of reinforced concrete structures during bending with torsion// Building materials. 2021. No. 6. Pp. 47-56
15. Fedorov V.S., Pham Fuk Tung, Kolchunov V.I. Calculation of crack opening width in reinforced concrete structures at central tension taking into account the effect of continuity violation // Izvestiya Orel State Technical University. 2007. No. 1(13). Pp. 29-34.
16. SP 63.13330.2018 Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions. SNiP 52-01-2003 (with Change N 1). Official publication. Moscow: Standartinform, 2019
17. Kolchunov V.I., Pimochkin V.N. deformation effect in the resistance of stretched concrete between cracks in a reinforced concrete element (or the disclosure of the true causes of the divergence of external and internal forces in the cross section of a reinforced concrete element calculated according to the theory of V.I. Murashev) // Izvestiya Orel State Technical University. 2005. No. 3-4. Pp. 49-55.
18. Kolchunov V.I., Kolchunov V.I., Fedorova N.V. Deformation models of reinforced concrete under special influences // Industrial and civil construction. 2018. No. 8. Pp. 54-60.
19. Demyanov A.I., Naumov N.V., Kolchunov V.I. Methodology for determining the parameters of deformation and crack resistance of reinforced concrete composite structures experiencing torsion with bending // Izvestiya vuzov. 2018. No. 7. Pp. 5-16.

Информация об авторах:

Федорова Наталия Витальевна

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

ведущий научный сотрудник НИИСФ РААСН.

E-mail: fenavit@mail.ru

Бушова Олеся Борисовна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия, аспирант кафедры железобетонных и каменных конструкций НИУ МГСУ.

E-mail: bushova96@mail.ru

Колчунов Виталий Иванович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия, профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций.

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

член-корреспондент НИИСФ РААСН.

E-mail: asiorel@mail.ru.

Information about authors:

Fedorova Natalia V.

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

leading researcher of the NIISF RAASN.

E-mail: fenavit@mail.ru

Bushova Olesya B.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «National Research Moscow State University of Civil Engineering» (MGSU), Moscow, Russia,

postgraduate student of the department of Reinforced Concrete and Stone Structures of the MGSU.

E-mail: bushova96@mail.ru

Kolchunov Vitaly Iv.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «National Research Moscow State University of Civil Engineering» (MGSU), Moscow, Russia,

professor of the department of Reinforced Concrete and Stone Structures.

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

corresponding member of NIISF RAASN.

E-mail: asiorel@mail.ru