

ВЛ.И. КОЛЧУНОВ^{1,2}, О.И. АЛЬ-ХАШИМИ¹, М.В. ПРОТЧЕНКО¹¹ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Россия²Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН Российская Федерация, г. Москва, Россия

ЖЕСТКОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ИЗГИБЕ ПОПЕРЕЧНОЙ И ПРОДОЛЬНОЙ СИЛАМИ

Аннотация. В статье разработана модель для единичных составных полосок в блоке – клине и арках между наклонными трещинами, а также выполнена аппроксимация прямоугольных поперечных сечений с помощью малых квадратов в элементах матрицы.

Из анализа работ Н.И. Карпенко и С.Н. Карпенко получены «нагельные» усилия Q_s в продольной растянутой арматуре и сдвиг трещины Δ_s , как функции ширины раскрытия и деформаций бетона в зависимости от косинуса угла θ . При этом определены экспериментальные «нагельные» усилия $Q_{s,exp}$ и зависимости сдвига трещины $\Delta_{cr,exp}$ от a/h_0 в виде экспоненты для деформаций арматуры $\varepsilon_s \cdot m_{s,3}$ и расстояния l_x .

На основе принятых гипотез получен условный модуль сдвига шва ξ_m для полоски составной конструкции единичной длины при известной разности средних относительных линейных и угловых деформаций бетона (или арматуры). Это позволяет снизить порядок системы дифференциальных уравнений Ржаницына, а также получить в каждом шве суммарные угловые деформации $\gamma_{zx, stitch, sum, i}$ бетона и «нагельный» эффект арматуры. При этом кривизны составных стержней связаны с суммарным изгибающим моментом в стержне из нескольких брусков и суммой их жесткостей. Параметры матрицы жесткости для сжатой зоны бетона и рабочей арматуры получены из решения системы уравнений равновесия, деформаций и физических соотношений.

Ключевые слова: матрицы жесткости, поперечная сила, единичные составные полоски, арки с наклонными трещинами, модуль шва и кривизна, анкеровка, дифференциальные уравнения.

VL.I. KOLCHUNOV^{1,2}, O.I. AL-HASHIMI¹, M.V. PROTCHEENKO¹¹South-West State University, Kursk, Russia²Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russia

STIFFNESS OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES UNDER BENDING WITH TRANSVERSE AND LONGITUDINAL FORCES

Abstract. The authors developed a model for single reinforced concrete strips in block wedge and arches between inclined cracks and approximated rectangular cross-sections using small squares in matrix elements. From the analysis of the works of N.I. Karpenko and S.N. Karpenko the "nagel" Q_s forces in the longitudinal tensile reinforcement and crack slip Δ_s , as a function of the opening width and concrete deformations in relation to the cosine of the angle θ . The experimental "nagel" forces $Q_{s,exp}$ and crack slip $\Delta_{cr,exp}$ dependences for the connection between $\Delta_{cr,exp}$ and a/h_0 in the form of an exponent for the reinforcement deformations $\varepsilon_s \cdot m_{s,3}$ and spacing l_x are determined. The forces have been calculated for two to three cross-sections (single composite strips) of reinforced concrete structures.

On the bases of accepted hypothesis, a new effect of reinforced concrete and a joint modulus ξ_m in a strip of composite single local shear zone for the difference of mean relative linear and angular deformations $\gamma_{zx, stitch, s, i}$ of mutual displacements of concrete (or reinforcement) are developed. The hypothesis allows one to reduce the order of the system of differential equations of Rzhantsyn and to obtain in each joint the total angular deformations of concrete and the "nagel" effect of reinforcement. The curvature of the composite bars has a relationship from the total bending moment of the bars to the sum of the rigidities. The stiffness physical characteristics of the matrix from the compressed concrete

area and the working reinforcement are obtained in a system of equations of equilibrium and deformation, as well as physical equations.

Keywords: rigidity matrices, shear force, unit compound strips, arches with inclined cracks, suture modulus and curvature, anchors, differential equations.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лессинг Н.Н., Руллэ Л.К. Общие принципы расчета прочности железобетонных стержней на изгиб с кручением. В сб. НИИЖБ: Теория железобетона, посвященном 75-летию со дня рождения А.А. Гвоздева. 1972. С. 43-49.
2. Залесов А.С., Хозяинов Б.П. Прочность железобетонных элементов при кручении и изгибе // Известия вузов, разд. Строительство и архитектура. 1991. №1. С. 1-4.
3. Карпенко Н.И. К определению деформаций стержневых железобетонных коробчатых элементов с трещинами при кручении // Реферативный сб. ЦИНИСА: Межотраслевые вопросы строительства. «Отечественный опыт». 1970. №10. С. 39-42.
4. Карпенко Н.И. К расчету деформаций железобетонных стержней с трещинами при изгибе с кручением. Сб. НИИЖБ: Теория железобетона, посвященном 75-летию со дня рождения А.А. Гвоздева. М: Стройиздат. 1972. С. 50-59.
5. Арзамасцев С.А., Родевич В.В. К расчету железобетонных элементов на изгиб с кручением // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2015. №9. С. 99-109.
6. Ilker Kalkan, Saruhan Kartal. Torsional Rigidities of Reinforced Concrete Beams Subjected to Elastic Lateral Torsional Buckling // International Journal of Civil and Environmental Engineering. 2017. Vol. 11. No.7. Pp. 969-972.
7. Klein G., Lucier G., Rizkalla S., Zia P., Gleich H. Torsion simplified: a failure plane model for design of spandrel beams // ACI Concrete International Journal, February 2012. Pp.1-19.
8. Lin W. Experimental investigation on composite beams under combined negative bending and torsional moments // Advances in Structural Engineering. 2021. 24(6). Pp. 1456-1465. <https://doi.org/10.1177/1369433220981660>.
9. Травуш В.И., Карпенко Н.И., Колчунов В.И., Каприелов С.С., Демьянов А.И., Конорев А.В. Результаты экспериментальных исследований конструкций квадратного и коробчатого сечений из высокопрочного бетона при кручении с изгибом // Строительство и реконструкция. 2018. №6 (80). С. 32-43.
10. Травуш В.И., Карпенко Н.И., Колчунов В.И., Каприелов С.С., Демьянов А.И., Конорев А.В. Основные результаты экспериментальных исследований железобетонных конструкций из высокопрочного бетона В100 круглого и кольцевого сечений при кручении с изгибом // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2019. №15(1). С. 51-61.
11. Демьянов А.И., Сальников А.С., Колчунов В.И. Экспериментальные исследования железобетонных конструкций при кручении с изгибом и анализ их результатов // Строительство и реконструкция. 2017. №4(72). С. 17-26.
12. Колчунов В.И., Колчунов В.И., Федорова Н.В. Деформационные модели железобетона при особых воздействиях // Промышленное и гражданское строительство. 2018. №8. С. 54-60.
13. Колчунов В.И., Федоров В.С. Понятийная иерархия моделей в теории сопротивления строительных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2020. №8. С. 16-23. DOI: 10.33622/0869-7019.2020.08.16-23.
14. Kolchunov V.I., Dem'yanov A.I. The modeling method of discrete cracks and rigidity in reinforced concrete // Magazine of Civil Engineering, 2019. Vol. 88. No 4. Pp. 60-69. DOI: 10.18720/MCE.88.6.
15. Karpenko N.I., Kolchunov V.I., Travush V.I. Calculation model of a complex stress reinforced concrete element of a boxed section during torsion with bending // Russian Journal of Building Construction and Architecture. 2021. Vol. 51. No. 3. Pp. 7-26. DOI: 10.36622/VSTU.2021.51.3.001.
16. Колчунов В.И., Демьянов А.И., Протченко М.В. Моменты в железобетонных конструкциях при изгибе с кручением. Строительство и реконструкция. 2021. № 3 (95) . С. 25-44.
17. Колчунов В.И., Арьенков Н.Г., Омельченко Е.В., Тугай Т.В., Бухтиярова А.С. Методика определения жесткости плосконапряженных и стержневых железобетонных составных конструкций при сейсмических воздействиях // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 2. С. 12-15.
18. Горностаев И.С., Ключева Н.В., Колчунов В.И., Яковенко И.А. Деформативность железобетонных составных конструкций с наклонными трещинами // Строительная механика и расчет сооружений. 2014. № 5(256). С. 60-66.
19. Бондаренко В.М., Колчунов В.И. Расчетные модели силового сопротивления железобетона. М.: Изд-во АСВ, 2004. 471 с.
20. Верюжский Ю.В., Колчунов В.И. Методы механики железобетона. Учебное пособие. К.: Книжное издательство НАУ, 2005. 653 с.
21. Голышев А.Б., Колчунов В.И. Сопротивление железобетона. К.: Основа, 2009. 432 с.

22. Велюжский Ю.В., Голышев А.Б., Колчунов Вл.И., Ключева Н.В., Лисицин Б.М., Машков И.Л., Яковенко И.А. Справочное пособие по строительной механике. В двух томах. Том II: Учебное пособие. М.: Изд-во АСВ, 2014. 432 с.
23. Баширов Х.З., Колчунов Вл.И., Федоров В.С., Яковенко И.А. Железобетонные составные конструкции зданий и сооружений. Москва: Издательство АСВ, 2017. 248 с.
24. Карпенко Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами. М: Стройиздат. 1976. 204 с.
25. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. М.: Стройиздат, 1996. 410 с.
26. Карпенко С.Н. Об общем подходе к построению теории прочности железобетонных элементов при действии поперечных сил // Бетон и железобетон. 2007. №2. С. 21-27.

REFERENCES

1. Lessing N.N., Rullay L.K. General principles for calculating the torsional flexural strength of reinforced concrete bars. Theory of reinforced concrete dedicated to the 75th anniversary of the birth of A.A. Gvozdev. 1972. Pp. 43-49.
2. Zalesov A.S., Khozyainov B.P. Strength of reinforced concrete elements in torsion and bending. Proceedings of universities in chapter Construction and architecture. 1991. No. 1. Pp. 1-4.
3. Karpenko N.I. Determination of deformations of rod-shaped reinforced concrete box-shaped elements with torsional cracks. Cross-sectoral construction issues. "Domestic Experience". 1970. No. 10. Pp. 39-42.
4. Karpenko N.I. To the calculation of deformations of reinforced concrete rods with cracks in bending with torsion. Theory of reinforced concrete dedicated to the 75th anniversary of the birth of A.A. Gvozdev. 1972. Pp. 50-59.
5. Arzamastsev S.A., Rodevich V.V. To the calculation of reinforced concrete elements for bending with torsion // Proceedings of higher educational institutions, Building. 2015. Vol. 681. No. 9. Pp. 99-109.
6. IlkerKalkan, SaruhanKartal. Torsional Rigidities of Reinforced Concrete Beams Subjected to Elastic Lateral Torsional Buckling // International Journal of Civil and Environmental Engineering. 2017. Vol. 11. No.7. Pp. 969-972.
7. Klein G., Lucier G., Rizkalla S., Zia P., Gleich H. Torsion simplified: a failure plane model for design of spandrel beams // ACI Concrete International Journal, February 2012. Pp.1-19.
8. Lin W. Experimental investigation on composite beams under combined negative bending and torsional moments. Advances in Structural Engineering. 2021. 24(6). Pp. 1456-1465. DOI: 10.1177/1369433220981660.
9. Travush V.I., Karpenko N.I., Kolchunov Vl. I., Kaprielov S.S., Demyanov A.I., Bulkin S.A., Moskovtseva V.S. Results of experimental studies of high-strength fiber reinforced concrete beams with round cross-sections under combined bending and torsion. Structural mechanics of engineering structures and structures, 2020. Vol. 16. No. 4, Pp. 290-297. DOI:10.22363/1815-5235-2020-16-4-290-297.
10. Travush V.I., Karpenko N.I., Kolchunov Vl.I., Kaprielov S.S., Demyanov A.I., Konorev A.V. Main results of experimental studies of reinforced concrete structures of high-strength concrete B100 round and circular cross sections in torsion with bending. Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings, 2019. Vol. 15. No. 1. Pp. 51-61. DOI:10.22363/1815-5235-2019-15-1-51-61
11. Demyanov A.I., Salnikov A.S., Kolchunov Vl.I. The experimental studies of reinforced concrete constructions in torsion with bending and the analysis of their results. Building and Reconstruction, 2017. Vol. 72, No. 4. Pp. 17-26.
12. Kolchunov V.I., Kolchunov Vl.I., Fedorova N.V. Deformation models of reinforced concrete under special impacts // Industrial and civil construction, 2018. No. 8. Pp. 54-60.
13. Kolchunov Vl.I., Fedorov V.S. Conceptual Hierarchy of Models in the Theory of Resistance of Building Structures //Industrial and Civil Engineering. 2020. No. 8. Pp. 16-23. DOI: 10.33622/0869-7019.2020.08.16-23.
14. Kolchunov V.I., Dem'yanov A.I. The modeling method of discrete cracks and rigidity in reinforced concrete. Magazine of Civil Engineering, 2019. Vol. 88. No. 4. Pp. 60-69. DOI: 10.18720/MCE.88.6.
15. Karpenko N.I., Kolchunov Vl. I., Travush V.I. Calculation model of a complex stress reinforced concrete element of a boxed section during torsion with bending // Russian Journal of Building Construction and Architecture. 2021. Vol. 51. No. 3. Pp. 7-26. DOI: 10.36622/VSTU.2021.51.3.001.
16. Kolchunov V.I., Demyanov A.I., Protchenko M.V. moments in reinforced concrete structures under bending with torsion. Building and Reconstruction. 2021. 95(3). Pp. 27-46. (In Russ.). DOI:10.33979/2073-7416-2021-95-3-27-46
17. Kolchunov V.I., Aryenkov N.G., Omelchenko E.V., Tugay T.V., Bukhtiyarova A.S. Methods for determining the stiffness of planar stressed and frame reinforced concrete composite structures under seismic actions // Industrial and civil construction. 2014. No. 2. Pp. 12-15.
18. Gornostaev I.S., Klyueva N.V., Kolchunov Vl.I., Yakovenko I.A. Deformability of reinforced concrete composite structures with inclined cracks. Structural mechanics and calculation of structures. 2014. No. 5 (256). Pp. 60-66.
19. Bondarenko V.M., Kolchunov Vl.I. (2004). Design models of the power resistance of reinforced concrete. Moscow: Publishing house ABC, 2004. 471 p.
20. Veruzhsky Yu.V., Kolchunov Vl.I. Methods of reinforced concrete mechanics. Kiev: NAU Book Publishing House. 2005. 653 p.

21. Golyshev A.B., Kolchunov V.I. Reinforced concrete resistance. Kiev: Osnova, 2009. 432 p.
22. Velyuzhsky Yu.V., Golyshev A.B., Kolchunov V.I., Klyueva N.V., Lisitsin B.M., Mashkov I.L., Yakovenko I.A. A reference guide to structural mechanics: Volume II. Moscow: Publishing house ABC. 2014. 432 p.
23. Bashirov Kh.Z., Kolchunov V.I., Fedorov V.S., Yakovenko I.A. Reinforced concrete composite structures of buildings and structures. Moscow: ASV Publishing House, 2017. 248 p.
24. Karpenko N.I. The theory of deformation of reinforced concrete with cracks, Moscow: Stroyizdat. 1976. 204 p.
25. Karpenko N.I. General models of reinforced concrete mechanics. Moscow: Stroyizdat, 1996. 410 p.
26. Karpenko S.N. On the general approach to the construction of the theory of strength of reinforced concrete elements under the action of transverse forces. Concrete and reinforced concrete. 2007. No. 2. Pp. 21-27.

Информация об авторах:

Колчунов Владимир Иванович

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Россия,
член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор кафедры уникальных зданий и сооружений.
Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН Российская Федерация, г. Москва, Россия,
главный научный сотрудник НИИСФ РААСН.
E-mail: vlik52@mail.ru

Аль-Хашими Омар Исмаел

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Россия,
аспирант кафедры уникальных зданий и сооружений.
E-mail: omaralhashimi@yandex.ru

Протченко Максим Владимирович

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Россия,
инженер.
E-mail: maxBROMmax@ya.ru

Information about authors:

Kolchunov Vladimir Iv.

South-West State University, Kursk, Russia,
corresponding member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences,
doctor of Technical Sciences, Professor the Department of Unique Buildings and Structures.
Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow, Russia,
chief Researcher of the Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences.
E-mail: vlik52@mail.ru

Al-Hashimi Omar Ismael

South-West State University, Kursk, Russia,
post-graduate student of the department of unique buildings and structures.
E-mail: omaralhashimi@yandex.ru

Protchenko Maxim V.

South-West State University, Kursk, Russia,
engineer.
E-mail: maxBROMmax@ya.ru