

Н.В. МАТВЕЕНКО¹, В.Н. МАЛИНОВСКИЙ¹, Е.С. МАТВЕЕНКО¹

¹УО «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь

ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ НАКЛОННЫХ СЕЧЕНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЛОМАНОВОГО ОЧЕРТАНИЯ

Аннотация. Несмотря на широкое применение балок ломаного очертания остаются малоизученными особенности их напряженно-деформированного состояния, в том числе в местах вблизи переломов граней. Многочисленные экспериментальные исследования показали, что в двускатных балках наклонные трещины образуются не только в приопорной зоне, но и в середине пролета непосредственно у конька даже при отсутствии поперечной силы.

На основании выполненных натурных испытаний двускатных балок и численного моделирования построены эпюры касательных и поперечных напряжений. Полученные данные выявили различия в распределении напряжений в двускатных балках и балках с параллельными гранями. Особенности напряженно-деформированного состояния балок ломаного очертания связаны с возникновением касательных напряжений от действия изгибающего момента и продольной силы из-за переменной высоты сечения элемента, а также с формированием локальных полей напряжений в зонах вблизи переломов граней.

Предложенные аналитические зависимости позволяют вычислить касательные и поперечные напряжения в коньковой зоне двускатных балок и определить момент возникновения наклонных трещин в указанной зоне.

Ключевые слова: двускатная балка, касательные напряжения, трещиностойкость наклонных сечений, эпюра.

N.V. MATWEENKO¹, V.N. MALINOVSKIY¹, E.S. MATWEENKO¹

¹Brest State Technical University, Brest, Republic of Belarus

SHEAR CRACK RESISTANCE OF REINFORCED CONCRETE TAPERED BEAMS

Abstract. Despite the widespread use of tapered beams, the features of their stress-strain state remain poorly understood, including in regions near curvatures of the faces. A lot of experimental studies have shown that in tapered beams, shear cracks occur not only in the support zone, but also in the middle of the span directly at the apex, even without shear force.

Based on the full-scale tests of tapered beams and finite element analyses, diagrams of shear and transverse stresses are constructed. The data obtained revealed differences in the stress distribution in tapered and linear beams. The features of the stress-strain state of the tapered beams are associated with the occurrence of shear stresses from the action of the bending moment and longitudinal force due to the variable depth of the section of the element, as well as with the formation of local stress fields in areas near the curvatures of the faces.

The proposed analytical dependences allow us to calculate shear and transverse stresses in the apex zone of tapered beams and determine the moment of occurrence of shear cracks in the specified zone.

Keywords: tapered beam, shear crack, reinforced concrete, variable depth.

© Матвеевко Н.В., Малиновский В.Н., Матвеевко Е.С., 2023

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малиновский В.Н., Кривицкий П.В., Матвеевко Н.В. Усовершенствованный вариант конструктивного решения железобетонных стропильных балок // Вестник Брестского государственного технического университета. 2013. № 1 (79) : Строительство и архитектура. С. 128–131.

2. Magnel G. Les applications du béton précontraint en Belgique // Bulletin technique de la Suisse romande. Mars., 1949. année 75 (No. 7). Pp. 77–82.
3. Leonhardt F Continuous Prestressed Concrete Beams // Journ. of ACI. Mar., 1953. Vol. 22. No. 7. Pp. 617–634.
4. Горожанский Ю.Ф. Преимущества замены статической схемы сборных железобетонных рам для одноэтажного промышленного строительства // Республиканской научно-технической конференции: тезисы докладов. Брест: БИСИ, 1968. С. 42–47.
5. Debaiky S.Y., Elniema E.I. Behavior and Strength of Reinforced Concrete Haunched Beams in Shear // Journ. of ACI. May-June, 1982. Vol. 79. No. 3. Pp. 184–194.
6. Mseer F., Alwash N. The behavior of tapered one-way continuous two-span reinforced concrete slabs under repeated load // Periodicals of Engineering and Natural Sciences. June 2022. Vol. 10. No. 3. Pp. 387–396.
7. Tena-Colunga A. Archundia-Aranda H.I., Grande-Vega A., González-Cuevas O.M. Cyclic shear behavior of reinforced concrete haunched beams // Proceedings of Ninth Canadian Conference on Earthquake Engineering. Ottawa, Ontario, Canada, 2007. Pp. 184–194.
8. Caldentey A.P., Padilla P., Muttoni A., Ruiz M. F. Effect of Load Distribution and Variable Depth on Shear Resistance of Slender Beams without Stirrups // ACI Structural Journal. September-October, 2012. Vol. 109. No. 5. Pp. 595–603.
9. Shuo T., Okubo K., Niwa J. The Shear Behavior of RC Tapered Short Beams with Stirrups // Journal of Advanced Concrete Technology. September 2019. Vol. 17. Pp. 506–517. <http://doi.org/10.3151/jact.17.9.506>.
10. Hou Ch., Nakamura T., Iwanaga T., Niwa J. Shear behavior of reinforced concrete and prestressed concrete tapered beams without stirrups // Journal of JSCE. 2017. Vol. 5. Pp. 170–189.
11. Saba S.H.A., Mazin B. A., Bassam A. T. Response of Reinforced Concrete Tapered Beams Strengthened Using NSM-CFRP Laminates // Tikrit Journal of Engineering Sciences. 2022. No. 29 (1). Pp. 99–110. <http://doi.org/10.25130/tjes.29.1.8>.
12. Jasim M. Dh., Nimmim H. T. Structural behavior of reinforced concrete pre-stressed tapered beams // Periodicals of Engineering and Natural Sciences February. 2023. Vol. 11. No. 1. Pp. 223–238.
13. Матвеевко Н.В., Малиновский В.Н. К исследованию напряженно-деформированного состояния коньковой зоны балок криволинейного очертания // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2018. Т. 4. № 5. С. 9–17.
14. Кривицкий П.В., Матвеевко Н.В. Экспериментальные исследования сопротивления изгибу с поперечной силой преднапряженных железобетонных балок прямолинейного и ломаного очертания // Вестник Полоцкого государственного университета. 2021. № 8 : Серия F. Строительство. Прикладные науки. С. 87–93.
15. Jolly A. Vijayan V. Structural behaviour of reinforced concrete haunched beam a study on ANSYS and ETABS // International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology. August 2016. Vol. 3 Issue 8. Pp. 495–500.
16. Pham T. D., Hong W. K. Investigation of strain evolutions in prestressed reinforced concrete beams based on nonlinear finite element analyses considering concrete plasticity and concrete damaged plasticity // Journal Of Asian Architecture And Building Engineering. 2022. Vol. 21. No. 2. Pp. 448–468. <https://doi.org/10.1080/13467581.2020.1869014>.
17. Khaleel I.S., Movahedi R.M. Reliability-based probabilistic numerical plastically limited analysis of reinforced concrete haunched beams // Sci Rep 13, 2670 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-29930-0>.
18. Никулина Ю.А. Определение трещиностойкости предварительно напряженных железобетонных балок трапециевидного поперечного сечения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 11. С. 41–48. [doi:10.34031/2071-7318-2021-6-11-41-48](https://doi.org/10.34031/2071-7318-2021-6-11-41-48).
19. Снежкина О.В. Трещиностойкость железобетонных балок с малым и средним пролетом среза // Regional architecture and engineering. 2021. № 3. С. 123–128.
20. Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.П. Сопротивление материалов. М. : Высшая школа, 2003. 560 с.
21. Залесов А.С., Ильин О.Ф. Трещиностойкость наклонных сечений железобетонных элементов // Предельные состояния элементов железобетонных конструкций : сб. науч. тр. / НИИЖБ ; под ред. С. А. Дмитриева. М. : Стройиздат, 1976. С. 56–68.

REFERENCES

1. Malinovsky V.N., Krivitsky P.V., Matveenko N.V. Uovershenstvovannyi variant konstruktivnogo resheniia zhelezobetonnykh stropil'nykh balok [Improved version of the constructive decision reinforced concrete beams]. *Vestnik of Brest State Technical University*. 2013. No. 1 (79) : Building and Architecture. Pp. 128–131. (rus).
2. Magnel G. Les applications du béton précontraint en Belgique. *Bulletin technique de la Suisse romande*. Mars., 1949. année 75 (No. 7). P. 77–82.
3. Leonhardt F Continuous Prestressed Concrete Beams. *Journ. of ACI*. Mar., 1953. Vol. 22.No. 7. Pp. 617–634.

4. Gorozhanskiĭ I.U. F. Preimushchestva zameny staticheskoi skhemy sbornyykh zhelezobetonnykh ram dlia odnoetazhnogo promyshlennogo stroitel'stva [Benefits of replacing the static scheme of precast concrete frames for single-story industrial construction] // Respublikanskoĭ nauchno-tekhnicheskoi konferentsii: tezisy dokladov [Republican scientific and technical conference: abstracts]. Brest: BISI, 1968. Pp. 42–47. (rus).
5. Debaiky S.Y., Elniema E.I. Behavior and Strength of Reinforced Concrete Haunched Beams in Shear. *Journ. of ACI*. May-June, 1982. Vol. 79. No. 3. Pp. 184–194.
6. Mseer F., Alwash N. The behavior of tapered one-way continuous two-span reinforced concrete slabs under repeated load. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*. June 2022. Vol. 10. No. 3. Pp. 387–396.
7. Tena-Colunga A. Archundia-Aranda H. I., Grande-Vega A., González-Cuevas O. M. Cyclic shear behavior of reinforced concrete haunched beams. *Proceedings of Ninth Canadian Conference on Earthquake Engineering*. Ottawa, Ontario, Canada, 2007. Pp. 184–194.
8. Caldentey A.P., Padilla P., Muttoni A., Ruiz M. F. Effect of Load Distribution and Variable Depth on Shear Resistance of Slender Beams without Stirrups. *ACI Structural Journal*. September-October, 2012. Vol. 109. No. 5. Pp. 595–603.
9. Shuo T., Okubo K., Niwa J. The Shear Behavior of RC Tapered Short Beams with Stirrups. *Journal of Advanced Concrete Technology*. September 2019. Vol. 17. Pp. 506–517. <http://doi.org/10.3151/jact.17.9.506>.
10. Hou Ch., Nakamura T., Iwanaga T., Niwa J. Shear behavior of reinforced concrete and prestressed concrete tapered beams without stirrups. *Journal of JSCE*. 2017. Vol. 5. Pp. 170–189.
11. Saba S.H.A., Mazin B. A., Bassam A. T. Response of Reinforced Concrete Tapered Beams Strengthened Using NSM-CFRP Laminates. *Tikrit Journal of Engineering Sciences*. 2022. No. 29 (1). Pp. 99–110. <http://doi.org/10.25130/tjes.29.1.8>.
12. Jasim M. Dh., Nimnim H. T. Structural behavior of reinforced concrete pre-stressed tapered beams. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences February*. 2023. Vol. 11. No. 1. Pp. 223–238.
13. Matveenko N.V., Malinovsky V.N. K issledovaniyu napriazhenno-deformirovannogo sostoianiia kon'kovoĭ zony balok krivoliniĭnogo ochertaniia [To research of the stress-strain state of ridge area of the curved beam]. *Journal of Science and Education of North-West Russia*. 2018. Vol. 4. No. 5. Pp. 9–17. (rus).
14. Krivitsky P.V., Matveenko N.V. Ėksperimental'nye issledovaniia soprotivleniia izgibu s poperechnoi siloi prednapriazhennykh zhelezobetonnykh balok priamolineinogo i lomanogo ochertaniia [Experimental studies of the flexure with shear force resistance of straight and broken configuration prestressed concrete beams]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2021. № 8 : Seriya F. Stroitel'stvo. Prikladnye nauki. Pp. 87–93. (rus).
15. Jolly A. Vijayan V. Structural behaviour of reinforced concrete haunched beam a study on ANSYS and ETABS. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*. August 2016. Vol. 3 Issue 8. Pp. 495–500.
16. Pham T. D., Hong W. K. Investigation of strain evolutions in prestressed reinforced concrete beams based on nonlinear finite element analyses considering concrete plasticity and concrete damaged plasticity. *Journal Of Asian Architecture And Building Engineering*. 2022. Vol. 21. No. 2. Pp. 448–468. <https://doi.org/10.1080/13467581.2020.1869014>.
17. Khaleel I.S., Movahedi R.M. Reliability-based probabilistic numerical plastically limited analysis of reinforced concrete haunched beams. *Sci Rep* 13, 2670 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-29930-0>.
18. Nikulina Yu.A. Opredelenie treshchinostoĭkosti predvaritel'no napriazhennykh zhelezobetonnykh balok trapetsi-evidnogo poperechnogo secheniia [Determination of crack resistance of prestressed reinforced concrete beams of trapezoidal cross-section]. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2021. No. 11. Pp. 41–48. doi:10.34031/2071-7318-2021-6-11-41-48.
19. Snezhkina O.V. Treshchinostoĭkost' zhelezobetonnykh balok s malym i srednim proletom sreza [Cracking resistance of reinforced concrete beams with small and medium span]. *Regional architecture and engineering*. 2021. No. 3. Pp. 123–128.
20. Aleksandrov A.V., Potapov V.D., Derzhavin B.P. Soprotivlenie materialov [Material resistance]. M. : Vysshaya shkola, 2003. 560 p.
21. Zalesov A.S., Il'in O.F. Treshchinostoĭkost' naklonnykh sechenii zhelezobetonnykh elementov [Crack resistance of inclined sections of reinforced concrete elements]. *Predel'nye sostoianiia elementov zhelezobetonnykh konstruktсий : sb. nauch. tr. [Limit states of elements of reinforced concrete structures: collection of scientific papers]*. Moscow. 1976. Pp. 56–68.

Информация об авторах:

Матвеенко Никифор Викторович

УО «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь, старший научный сотрудник отраслевой лаборатории «Научно-исследовательский центр инноваций в строительстве».

E-mail: nikifarych@yandex.ru

Малиновский Василий Николаевич

УО «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь,
кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры строительных конструкций.

E-mail: 1@mail.ru

Матвеевко Елизавета Сергеевна

УО «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь,
преподаватель-стажер кафедры строительных конструкций.

E-mail: elizabeth.brenkoich@yandex.ru

Information about authors:

MatweenkoNikifor V.

Brest State Technical University, Brest, Republic of Belarus,
senior researcher of industry laboratory «Research Center for Innovations in Building».

E-mail: nikifarych@yandex.ru

Malinovsky Vasilij N.

Brest State Technical University, Brest, Republic of Belarus,
candidate in technical sciences, docent, professor of the department of building constructions.

E-mail: 1@mail.ru

Matweenko Elizaveta S.

Brest State Technical University, Brest, Republic of Belarus,
trainee teacher of the department of building constructions.

E-mail: elizabeth.brenkoich@yandex.ru