

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-4-68-74

*\*Обернихин Д.В., Никулин А.И.**Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова**\*E-mail: oberPGS@yandex.ru*

## ШИРИНА РАСКРЫТИЯ НОРМАЛЬНЫХ ТРЕЩИН В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛКАХ ТРАПЕЦИЕВИДНОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

**Аннотация.** В статье рассмотрены экспериментальные исследования значений ширины раскрытия трещин на различных этапах нагружения исследуемых балок трапециевидного сечения. Для сравнения также рассмотрены эталонные образцы прямоугольного и таврового поперечных сечений с одинаковыми габаритными размерами. Применение трапециевидных балок в практике строительства позволяет существенно уменьшить расход бетона по сравнению с балками прямоугольного сечения. Следует отметить, что при устройстве балок трапециевидного сечения не требуется полная разборка опалубки по сравнению с балками таврового и прямоугольного профилей. В работе приведены сравнения величин нагрузок появления первых трещин в балках с различным поперечным очертанием. Определены значения нагрузок, соответствующих достижению нормативной предельной величины ширины раскрытия трещин. В ходе исследования обнаружено, что трещины в балках трапециевидного сечения достигают предельной ширины раскрытия при более высоком уровне нагружения, чем трещины в балках прямоугольного и таврового сечений вследствие большего количества трещин по длине элемента. Произведен анализ как абсолютных, так и относительных величин расхода бетона по сечению элементов. Выделены основные достоинства и недостатки изгибаемых железобетонных элементов трапециевидного сечения по сравнению с эталонными образцами.

**Ключевые слова:** ширина раскрытия трещины, железобетон, изгибаемый железобетонный элемент, трапециевидное сечение, эксперимент.

**Введение.** Как показывает практика строительства, большинство железобетонных конструкций эксплуатируются в стадии, наступающей после образования трещин. Поэтому естественным является стремление изучить напряженно-деформированное состояние в окрестности трещины.

Вопросу изучения трещинообразования в железобетонных конструкциях посвящено немало научных работ отечественных и зарубежных ученых [1, 2, 5, 6, 10–20]. Авторами в предыдущих работах [7, 8, 16] были рассмотрены вопросы прочности и деформативности изгибаемых железобетонных элементов трапециевидного и других сечений. В актуальных отечественных нормативных документах расчет ширины раскрытия трещин в изгибаемых железобетонных элементах может оказаться превалирующим даже при подборе рабочей продольной арматуры. Этот факт вызывает необходимость более глубокого исследования затронутого вопроса, в том числе и применительно к конструкциям различного поперечного сечения, например, трапециевидного. Такая форма сечения заметно сдерживает раскрытие трещин в железобетонных конструкциях.

Экспериментальные данные, представленные в данной статье, были приведены в диссертационной работе [9] без сопоставительного анализа. В связи с чем целью данного исследования явилось – проведение комплексного сопоставительного анализа абсолютных и относительных

значений ширины раскрытия трещин изгибаемых железобетонных элементов трапециевидного и других сечений на различных этапах нагружения.

**Материалы и методы.** В качестве исследуемых образцов выступали 3 серии балок: прямоугольного (ОП), таврового (ОТ) и трапециевидного (ОТр) поперечного сечения. Пролет всех элементов составлял 1100 мм. В роли продольной рабочей арматуры использовались арматурные стержни диаметром 12 мм класса А500. Все образцы были выполнены из тяжелого бетона. Габаритные размеры всех балок одинаковы и составляют 120×140 мм. Геометрические размеры опытных образцов приведены на рисунке 1. В образцах ОТ также выполнялось конструктивное армирование полки арматурой Вр500 диаметром 5 мм (на рис. 1 условно не показано).

Испытание образцов проводилось на универсальной испытательной установке, приведенной на рисунке 2.

Как видно из рисунка 2, испытательная установка состоит из двух коробчатых опор, на которые установлено основание. Основание представляет собой два двутавра, соединенных между собой сваркой. На основании размещены две шарнирные опоры с расстоянием между центрами опор 1100 мм, на которые устанавливается испытываемая балка. Сверху на испытываемую балку устанавливается блок, состоящий из распределительных траверс и гидравлических цилиндров, которые передают усилие на балку через стальные катки. Гидравлические цилиндры

выполняют роль силового агрегата, и каждый из них может развивать усилие равное 16 тонн. После монтажа указанного нагрузочного оборудо-

вания последними устанавливаются тяжи, передающие усилие от гидродомкратов через верхние траверсы к основанию посредством нижних траверс.

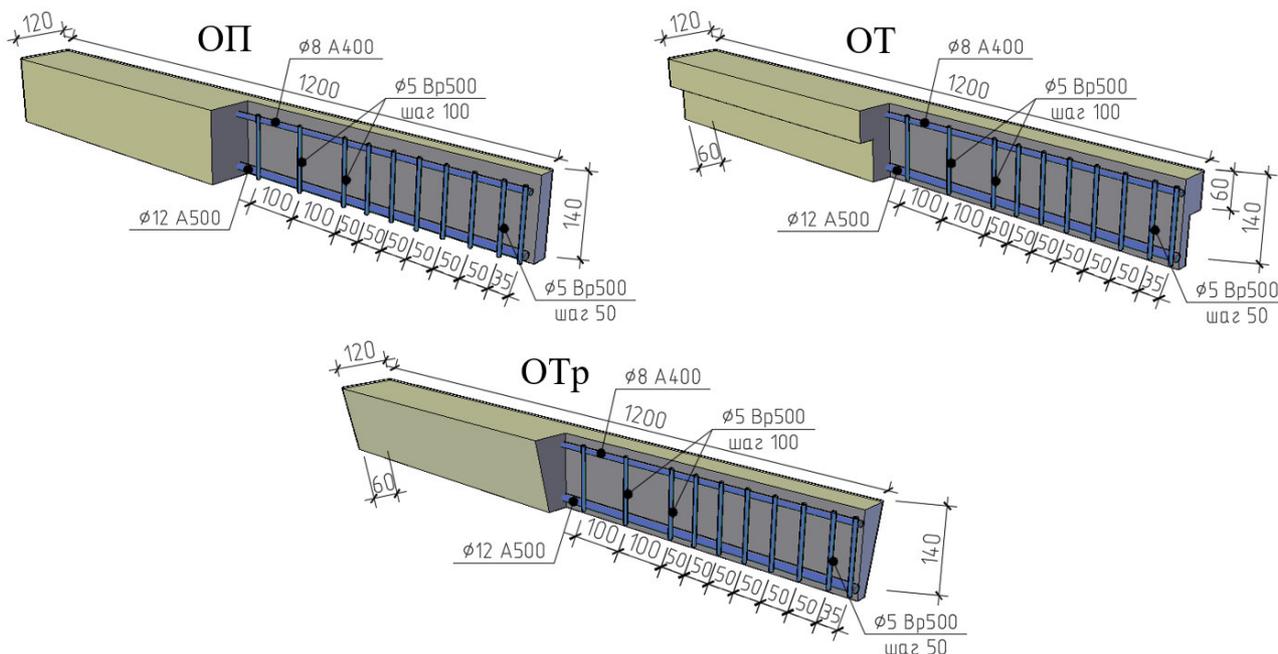


Рис. 1. Геометрические размеры образцов ОП, ОТ и ОТр

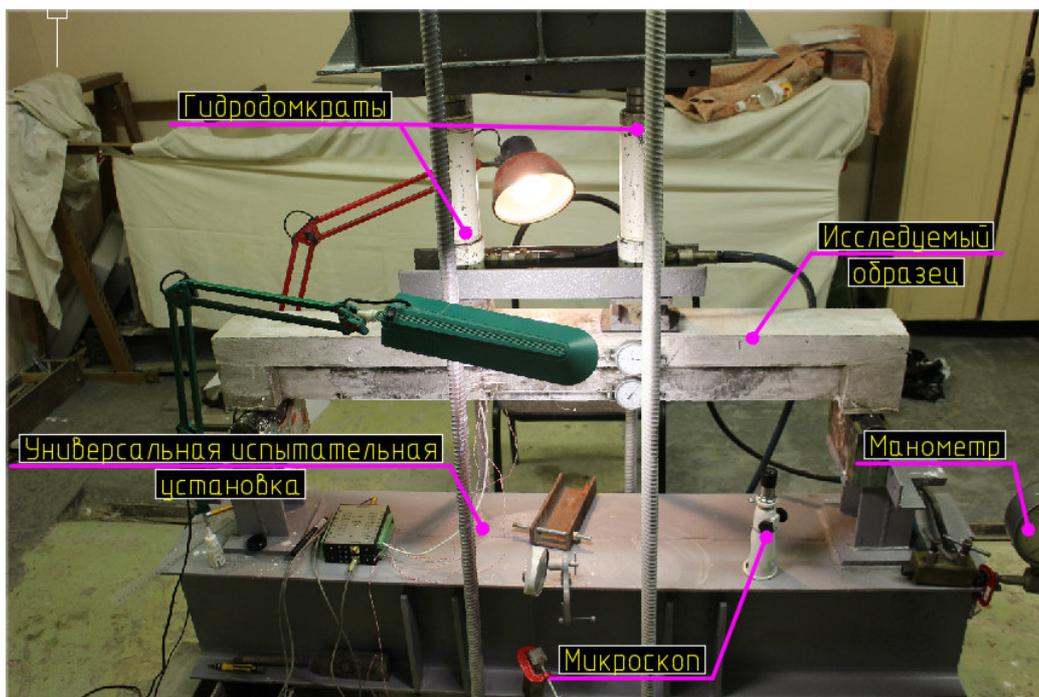


Рис. 2. Универсальная испытательная установка с исследуемым образцом

Для перемещения поршней гидродомкратов использовалась масляная станция с ручным приводом. Контроль нагрузки осуществлялся с помощью образцового манометра, подключенного к магистрали станции. Значение нагрузки определялось путем тарировки делений манометра по линейной зависимости между давлением и уси-

лием, возникающем в динамометре. Помимо манометра значение нагрузки также контролировалось тензодатчиками, установленными на стальные тяжи. Следует отметить, что датчики, установленные на тяжах, позволяют скорректировать расположение всей навески на начальных этапах нагружения, для центрального приложения нагрузки.

В пределах каждой серии, для определения физико-механических характеристик бетона, были изготовлены 4 стандартных образца размером  $100 \times 100 \times 100$  мм и 3 образца  $100 \times 100 \times 400$  мм. Количество вспомогательных образцов, а также методика их испытания принимались согласно [3]. Характеристики бетона и арматуры приведены в таблице 1.

Методика проведения экспериментального исследования описана в предыдущих работах [16, 7, 8]. Весь эксперимент был разбит на три этапа:

- исследование контрольных образцов;
- подготовка экспериментальных образцов к испытанию;
- испытание экспериментальных образцов.

Контрольные испытания прочности образцов бетона на сжатие и арматуры на растяжение проводились в соответствии с [3] и [4] при помощи гидравлического пресса марки WEW 600D. Результаты испытаний после статистической и аналитической обработки представлены в таблице 1.

Таблица 1

### Характеристики бетона и арматуры

Характеристики бетона				
Характеристика образцов бетона	ОП	ОТ	ОТр	
Средняя кубиковая прочность $\bar{R}$ , МПа	27,67	25,92	28,17	
Предельное сопротивление центральному сжатию $R_b$ , МПа	20,35	19,12	20,70	
Нормативный модуль упругости при сжатии $E_{bn}$ , МПа	31500	30500	31500	
Предельное сопротивление центральному растяжению $R_{bt}$ , МПа	1,53	1,43	1,68	
Предельная относительная деформация при центральном сжатии $\varepsilon_{bR}$	0,0019450	0,0019206	0,0019561	
Предельная относительная деформация при центральном растяжении $\varepsilon_{btR}$	0,0000886	0,0000868	0,0000945	
Характеристики арматуры				
Класс арматуры	$\sigma_{el}$ , МПа	$\sigma_y$ , МПа	$\sigma_u$ , МПа	$\delta_{200}$ , %
A500с	575,86	591,75	668,56	13,87
A400	615,57	619,72	708,92	14,76

В рамках подготовки к испытанию проводился визуальный осмотр экспериментальных образцов на наличие дефектов, после чего определялись фактические размеры и реальный вес балки. Вес балок учитывался в дальнейшем при расчете нагрузки. На образцы устанавливались все необходимые приборы с последующей их выверкой, после чего на грани балки наносилась пометка.

Нагружение проводилось поэтапно с шагом нагрузки 5 % от предполагаемой разрушающей до появления первой трещины, и 10 % после. На каждом этапе нагрузка выдерживалась 15 минут, после чего увеличивалась. Ширина раскрытия трещин определялась на каждом этапе после появления первой трещины. Для этого использовался лабораторный микроскоп МПБ-100 с дополнительной видеофиксацией (рис. 3).

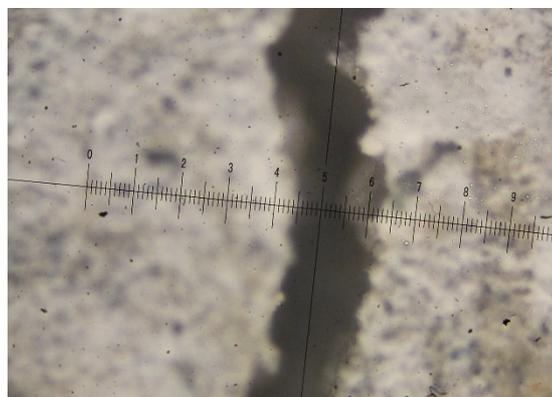
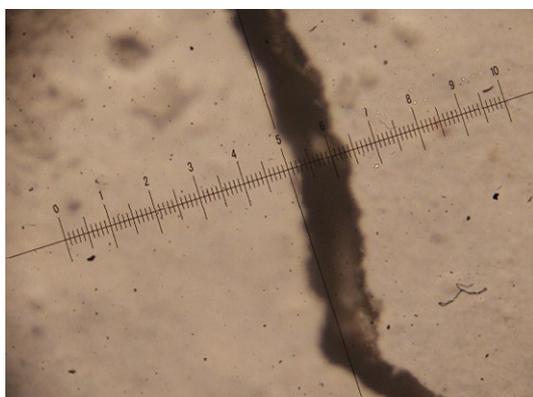


Рис. 3. Определение ширины раскрытия трещин

**Основная часть.** В ходе исследования было испытано 9 экспериментальных балок по три образца каждого вида (ОП, ОТ, ОТр). Результаты исследования приведены в табл. 2.

Следует уточнить, что методика проведения испытания позволяет получить достаточно точную величину нагрузки появления первой трещины посредством использования видеосъемки.

Появление трещин сопровождается резким скачком стрелки прогибомера во время увеличения нагрузки.

Таблица 2

## Ширина раскрытия трещин [9]

Образец	Нагрузка трещинообразования $P_{ср}$ , кН	Средняя нагрузка $P_{ср}$ , кН	Ширина раскрытия трещины $a_{ср}$ , при нагрузке $P$ кГ						
			12	16	20	24	28	32	36
ОП - 1	7,825	7,44	0,08	0,12	0,14	0,18	0,23	0,30	–
ОП - 2	7,415		0,11	0,14	0,18	0,21	0,25	0,31	–
ОП - 3	7,080		0,04	0,13	0,20	0,23	0,29	0,32	–
ОТ - 1	5,110	4,65	0,03	0,08	0,10	0,12	0,17	0,23	0,30
ОТ - 2	4,980		0,05	0,09	0,11	0,13	0,18	0,20	0,32
ОТ - 3	3,860		0,05	0,07	0,70	0,13	0,15	0,21	0,31
ОТр - 1	5,350	5,037	–	0,10	0,12	0,15	0,17	0,22	0,27
ОТр - 2	4,911		0,06	0,11	0,13	0,14	0,18	0,20	0,30
ОТр - 3	4,850		0,06	0,10	0,11	0,14	0,18	0,24	0,29

Как видно из полученных результатов, наиболее высокая нагрузка трещинообразования оказалась у балок прямоугольного поперечного сечения и составила в среднем 7,44 кН, а самая низкая нагрузка оказалась у балок таврового сечения 4,65 кН, что на 38 % ниже, чем у ОП. В трапециевидных балках средняя нагрузка трещинообразования составила 5,037 кН, что на 48 % ниже, чем у балок прямоугольного сечения и на 7,7 % выше тавровых.

При нагрузке 12 и 16 кН средняя ширина раскрытия трещин для балок таврового сечения (ОТ) составила, соответственно, 0,043 мм и 0,08 мм, в то время как в балках серии ОП и ОТр, соответственно, 0,077 мм, 0,13 мм и 0,06 мм, 0,103 мм. Следует отметить, что в образце ОТр-1 при нагрузке 12 кН трещины еще не появились.

Как известно из п. 8.2.6 СП 63.13330 [11] в конструкциях, где возможно образование трещин, ширина их раскрытия ограничивается в зависимости от длительности нагрузки и используемой арматуры. Так при продолжительном действии нагрузки и использовании арматуры класса А500 предельное значение ширины раскрытия составляет 0,3 мм.

Из таблицы 2 видно, что наименьшая нагрузка, при которой ширина раскрытия трещин составила 0,3 мм оказалась у образцов серии ОП и составила  $P_{0,3} = 32$  кН. У балок серии ОТ  $P_{0,3} =$

36 кН. В образцах серии ОТр эта нагрузка также находилась в районе 36 кН, однако в образцах ОТр-1 и ОТр-3 ширина раскрытия трещин составила 0,27 мм и 0,29 мм. Своего предельного значения она достигла только после превышения нагрузки 36 кН. Это объясняется тем, что в балках серии ОТр общее количество трещин по длине балки на поздних этапах было выше, чем в балках серий ОП и ОТ, а, следовательно, в то время как у балок серий ОП и ОТ с повышением нагрузки увеличивалась ширина раскрытия трещин, в балках ОТр процесс трещинообразования продолжался без существенного роста ширины раскрытия существующих трещин.

Для анализа экономии материала найдены относительные характеристики – относительная нагрузка трещинообразования и относительная нагрузка достижения предельного значения ширины раскрытия трещин таблица 3.

Из таблицы 3 видно, что самая высокая средняя относительная нагрузка трещинообразования у балок серии ОП. Она на 12,4 % и 9,3 % выше, чем у балок серии ОТ и ОТр, соответственно. В то же время самая высокая относительная нагрузка достижения предельной ширины раскрытия трещин 0,3 мм оказалась у балок серии ОТ – на 37 % и на 4,8 % выше, чем в образцах серии ОП и ОТр, соответственно.

Таблица 3

## Относительные характеристики

Образец	Площадь сечения $A$ , м <sup>2</sup>	Средняя нагрузка трещинообразования $P_{ср}$ , кН	Средняя нагрузка достижения $a_{ср}=0,3$ мм $P_{0,3}$ , кН	Средняя относительная нагрузка трещинообразования $P_{ср} / A$	Относительная нагрузка достижения предельной ширины 0,3 мм $P_{0,3} / A$
ОП	0,0168	7,44	32	443	1905
ОТ	0,012	4,65	36	388	3000
ОТр	0,0126	5,07	36	402	2857

**Выводы**

1. Показано, что при одинаковых габаритных размерах, армировании и сопоставимой прочности бетона средняя нагрузка трещинообразования у образцов прямоугольного сечения оказалась на 32 % выше, чем у балок трапециевидного сечения, и на 38% больше, чем у таврового.

2. Установлено, что наименьшая нагрузка, при которой величина раскрытия трещин достигает предельного значения 0,3 мм, оказалась у балок серии ОП и составила порядка  $R_{0,3}=32$  кН, в то время как для балок серии ОТ и ОТр нагрузка  $R_{0,3}$  составила 36 кН и выше.

3. Показано влияние характера образования трещин и их количества на ширину раскрытия трещин на этапах, близких к предельному.

4. Определено, что балки серии ОТр занимают промежуточное положение по исследуемым параметрам между балками ОП и ОТ, показывая при этом более высокие нагрузки при достижении трещинами предельной ширины раскрытия.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Бобров В.В. Оценка влияния формы и размеров железобетонных конструкций на уровень микротрещинообразования бетона // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 7. С. 26–29.

2. Гольшев А.Б., Колучнов В.И. Сопrotивление железобетона. Киев: Изд-во Основа, 2009. 432 с.

3. ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. М.: Стандартинформ, 2013. 30 с.

4. ГОСТ 12004-81 Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение. М.: Стандартинформ, 2009. 10 с

5. Залесов А.С. Расчет железобетонных конструкций по прочности, трещиностойкости и деформативности. М.: Книга по требованию, 2012. 320 с.

6. Колчунов Вл.И., Яковенко И.А., Ключева Н.В. К построению расчетной модели ширины раскрытия наклонных трещин в составных железобетонных конструкциях // Строительная механика и расчет сооружений. 2014. №1(252). С. 13–17.

7. Никулин А.И. Обернихин Д.В. Деформативность изгибаемых железобетонных элементов трапециевидного сечения с трещинами в растянутой зоне // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. № 5. С. 88–93.

8. Никулин А.И. Обернихин Д.В. Экспериментальные исследования деформативности изгибаемых железобетонных элементов различных

поперечных сечений // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 4. С. 56–59.

9. Обернихин Д.В. Ширина раскрытия трещин и особенности сопротивления железобетонных конструкций трапециевидного поперечного сечения: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. Белгород, 2019. 258 с.

10. Смоляго Г.А. Оценка уровня конструктивной безопасности железобетонных конструкций по трещиностойкости // Промышленное и гражданское строительство. 2003. № 4. С. 62–63.

11. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. М.: «Стандартинформ», 2019. 124 с.

12. Тамразян А.Г., Орлова М.А. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния железобетонных изгибаемых элементов с трещинами // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 6 (53). С. 98–105.

13. Федоров В. С., Шавыкина Е.В., Колчунов Вл.И. Методика расчета ширины раскрытия трещин в железобетонных внецентренно сжатых конструкциях с учетом эффекта нарушения сплошности // Строительная механика и расчет сооружений. 2009. № 1. С. 8–11.

14. Fantilli A.P., Ferretti D., Iori I., Vallini P. Flexural Deformability of Reinforced Concrete Beams // Journal of Structural Engineering. 1998. Vol. 124. Issue 9. Pp. 1041–1049. doi:10.1061/(ASCE)0733-9445(1998)124:9(1041)

15. Lu W.Y., Hwang S.J., Lin I.J. Deflection prediction for reinforced concrete deep beams // Computers and concrete. 2010. Vol. 7(1). Pp. 1–16. doi:10.12989/cac.2010.7.1.001

16. Oberrnikhin D.V., Nikulin A.I. Experimental studies of deflections in bending reinforced concrete elements taking into account the influence of the shape of their cross-section // Buildintech BiT: International Scientific Conference on Innovations and Technologies in Construction. Vol. 151. 2021. Pp. 52–62. doi:10.1007/978-3-030-72910-3\_9

17. Silva F.A.N., Horowitz B. Bending moments in beams of reinforced concrete buildings // Ibracon Structures and Materials Journal. 2008. Vol. 1. Pp. 193–211.

18. Zhou K.J.H., Ho J.C.M., Su R.K.L. Flexural Strength and Deformability Design of Reinforced Concrete Beams // Procedia Engineering. 2011. Vol. 14. Pp. 793–796. doi:10.1016/j.proeng.2011.07.176

19. Schulz M., Santisi d'Avila M.P. Analysis of reinforced concrete beams by the equivalent section method // Concrete engineering for Excellence and efficiency. 2011. Pp. 1–10. doi:10.1002/suco.201190012

20. Lu W.Y., Hwang S.J., LIN I.J. Deflection prediction for reinforced concrete deep beams //

Computers and concrete. 2010. Vol. 7(1). Pp. 1–16. doi:10.12989/cac.2010.7.1.001

*Информация об авторах*

**Обернихин Дмитрий Вячеславович**, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: oberPGS@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Никулин Александр Иванович**, кандидат технических наук, доцент кафедры строительства и городского хозяйства. E-mail: nikulin137@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

*Поступила 04.11.2021 г.*

© Обернихин Д.В., Никулин А.И., 2022

**\*Obernikhin D.V., Nikulin A.I.**

*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*

*\*E-mail: oberPGS@yandex.ru*

## CRACKING WIDTH OF REINFORCED CONCRETE BEAMS TRAPEZOIDAL CROSS SECTION

**Abstract.** *The article discusses experimental studies of the values of the crack opening width at various stages of loading the investigated trapezoidal beams. For comparison, reference samples of rectangular and tee cross-sections with the same overall dimensions are also considered. The use of trapezoidal beams in construction practice can significantly reduce the consumption of concrete in comparison with rectangular beams. It should be noted that when constructing trapezoidal beams, complete disassembly of the formwork is not required in comparison with beams of T-shaped and rectangular profiles. The paper compares the values of the loads of the appearance of the first cracks in beams with different transverse outlines. The values of the loads corresponding to the achievement of the normative limiting value of the crack opening width have been determined. In the course of the study, it was found that cracks in trapezoidal beams reach the maximum opening width at a higher loading level than cracks in rectangular and tee beams due to a greater number of cracks along the length of the element. An analysis of both absolute and relative characteristics was carried out, taking into account the consumption of concrete over the section of the elements. The main advantages and disadvantages of bending reinforced concrete elements of trapezoidal cross-section in comparison with reference samples are highlighted.*

**Keywords** *crack opening width, reinforced concrete, bending reinforced concrete element, trapezoidal section, experiment.*

### REFERENCES

1. Bobrov V.V. Assessment of the influence of the shape and size of reinforced concrete structures on the level of microcracking of concrete [Ocenka vliyaniya formy i razmerov zhelezobetonnykh konstrukcij na uroven' mikrotreshchinoobrazovaniya betona] Industrial and civil construction. 2014. No. 7. Pp. 26–29. (rus).

2. Golyshev A.B., Kolchunov V.I. Reinforced concrete resistance [Soprotivlenie zhelezobetona]. Publishing House Osnova, 2009. 432 p. (rus)

3. GOST 10180-2012 Concrete. Methods for determining the strength of control samples [Betony. Metody opredeleniya prochnosti po kontrol'nym obrazcam]. Standartinform. 2013. 30 p. (rus)

4. GOST 12004-81 Reinforcing steel. Tensile test methods. M.: Standartinform, 2009. 10 p. (rus)

5. Zalesov A.S. Calculation of reinforced concrete structures for strength, crack resistance and deformability [Betony. Metody opredeleniya

prochnosti po kontrol'nym obrazcam]. Book on demand, 2012. 320 p. (rus)

6. Kolchunov V.I., Yakovenko I.A., Klyueva N.V. On the construction of a computational model of the width of the opening of inclined cracks in composite reinforced concrete structures [K postroeniyu raschetnoj modeli shiriny raskrytiya naklonnykh treshchin v sostavnykh zhelezobetonnykh konstrukciyah]. Structural mechanics and calculation of structures. 2014. No. 1 (252). Pp. 13–17. (rus)

7. Nikulin A.I., Obernikhin D.V. Deformability of bending reinforced concrete elements of a trapezoidal section with cracks in a stretched zone [Deformativnost' izgibaemykh zhelezobetonnykh elementov trapecievidnogo secheniya s treshchinami v rastyanutoj zone]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2016. No. 5. P. 88–93. (rus)

8. Nikulin A.I., Obernikhin D.V. Experimental studies of the deformability of bending reinforced concrete elements of various cross sections [Eksper-

imental'nye issledovaniya deformativnosti izgibaemykh zhelezobetonnykh elementov razlichnykh poperechnykh sechenij]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No. 4. Pp. 56–59. (rus)

9. Obernikhin D.V. Crack opening width and resistance features of reinforced concrete structures of trapezoidal cross section [SHirina raskrytiya treshchin i osobennosti soprotivleniya zhelezobetonnykh konstrukcij trapecievidnogo poperechnogo secheniya]. Dissertation. Ph.D.: 05.23.01. Belgorod, 2019. 258 p. (rus)

10. Smolyago G.A. Assessment of the level of structural safety of reinforced concrete structures for crack resistance [Ocenka urovnya konstruktivnoj bezopasnosti zhelezobetonnykh konstrukcij po treshchinostojkosti]. Industrial and civil construction. 2003. No. 4. Pp. 62–63. (rus)

11. SP 63.13330.2018. Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions [Betonye i zhelezobetonnye konstrukcii. Osnovnye polozheniya.]. Standartinform. 2019. 124 p. (rus)

12. Tamrazyan A.G., Orlova M.A. Experimental studies of the stress-strain state of reinforced concrete bending elements with cracks [Eksperimental'nye issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya zhelezobetonnykh izgibaemykh elementov s treshchinami]. Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. 2015. № 6 (53). Pp. 98–105. (rus)

13. Fedorov V.S., Shavykina E.V., Kolchunov V.I. Methodology for calculating the width of crack opening in reinforced concrete eccentrically compressed structures taking into account the effect of discontinuity [Metodika rascheta shiriny raskrytiya treshchin v zhelezobetonnykh vnecentrenno szhatykh

konstrukciyah s uchetom effekta narusheniya sploshnosti]. Stroitel'naya mekhanika, design of structures. 2009. No. 1. Pp. 8–11. (rus).

21. 14. Fantilli, A.P., Ferretti D., Iori I., Vallini P. Flexural Deformability of Reinforced Concrete Beams. Journal of Structural Engineering. 1998. Vol. 124. Issue 9. Pp. 1041–1049. doi:10.1061/(ASCE)0733-9445(1998)124:9(1041)

15. Lu W.Y., Hwang J., Lin I.J. Deflection prediction for reinforced concrete deep beams. Computers and concrete. 2010. Vol. 7(1). Pp. 1–16. doi:10.12989/cac.2010.7.1.001

16. Obernikhin D.V., Nikulin A.I. Experimental studies of deflections in bending reinforced concrete elements taking into account the influence of the shape of their cross-section. Buildintech BiT: International Scientific Conference on Innovations and Technologies in Construction. Vol 151. 2021. Pp. 52–62. doi:10.1007/978-3-030-72910-3\_9

17. Silva F.A.N., Horowitz B. Bending moments in beams of reinforced concrete buildings. Ibracon Structures and Materials Journal. 2008. Vol. 1. Pp. 193–211.

18. Zhou K.J.H., Ho J.C.M., Su R.K.L., Flexural Strength and Deformability Design of Reinforced Concrete Beams. Procedia Engineering. 2011. Vol. 14. Pp. 793–796. doi:10.1016/j.proeng.2011.07.176

19. Schulz M., Santisi d'Avila M.P. Analysis of reinforced concrete beams by the equivalent section method. Concrete engineering for Excellence and efficiency. 2011. Pp. 1–10. doi:10.1002/suco.201190012

20. Lu W.Y., Hwang S.J., Lin I.J. Deflection prediction for reinforced concrete deep beams. Computers and concrete. 2010. Vol. 7(1). Pp. 1–16. doi:10.12989/cac.2010.7.1.001

#### Information about the authors

**Obernikhin, Dmitriy V.** PhD. E-mail: oberPGS@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

**Nikulin, Alexandr I.** PhD. E-mail: nikulin137@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 04.11.2021

#### Для цитирования:

Обернихин Д.В., Никулин А.И. Ширина раскрытия нормальных трещин в железобетонных балках трапециевидного поперечного сечения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 4. С. 68–74. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-68-74

#### For citation:

Obernikhin D.V., Nikulin A.I. Cracking width of reinforced concrete beams trapezoidal cross section. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 4. Pp. 68–74. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-7-4-68-74