УДК 624.012

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ С ОРГАНИЗОВАННОЙ ТРЕЩИНОЙ ПРИ ДЕЙСТВИИ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

А. Чхум
ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)», г. Новосибирск, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. *Оценка степени влияния заранее организованных трещин в растянутой зоне железобетонных балок на их трещиностойкость, деформативность под действием длительных нагрузок.*

Материалы и методы. *Бетон для образцов готовили как в лабораторных, так и в заводских условиях на портландцементе марки 500 при В/Ц = 0,71; состав бетона 1:1,9:4 (по весу); кубиковая прочность на 28-е сутки – 13,85 МПа; прочность призм размерами 10*10*40 см – 11,48 МПа; расчетный пролет 78 см; арматура периодического профиля класса А400 диаметром 10 мм. Организованные трещины образованы установкой пластины толщиной 0,5 мм и высотой 30 мм на арматуру в зоне максимальных моментов.*

Результаты. *Эксперименты подтвердили выдвинутые гипотезы о жесткости балок с заранее организованными трещинами по сравнению с балками сплошного сечения под действием длительных нагрузок. Балки с заранее организованными трещинами обеспечивают меньшее приращение прогибов с течением длительного периода времени, чем балки без организованных трещин. Предложенный метод для расчета прогибов железобетонных балок с заранее организованными трещинами под действием длительных нагрузок снижает прогибы примерно на 33%.*

Обсуждение и заключение. *Установлено, что наличие заранее организованных трещин уменьшает прогибы балок по сравнению с образцами сплошного сечения, фактически являясь регулятором напряженно-деформированного состояния железобетонных конструкций, и ведет к плавному деформированию последних на всех этапах загружения при воздействии длительных нагрузок.*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *трещинообразование, жесткость, деформативность, прогибы, изгибаемые элементы, энергетическая теория, заранее организованные трещины, длительные нагрузки, железобетонная балка, ползучесть.*

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF DEFLECTED MODE OF THE RIENFORCED CONCRETE BEAMS WITH ORGANIZED CRACKS UNDER LONG-TERM LOADING

A.Ckhum
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin),
Novosibirsk, Russia

ABSTRACT

Introduction. *Evaluation of the influence level of the pre-organized cracks in tensile zone of the reinforced concrete beams on their crack resistance, deformability under long-term loading is investigated in the article.*

Materials and methods. *Concrete for specimen was produced in laboratory and factory on portland cement of the 500-grade at W/C=0,71; concrete composition 1:1,9:4 (by weight); strength of cube at 28th days – 13,85 MPa; strength of prism with dimensions 10/10*40 cm – 11,48 MPa; span calculation – 78 cm; steel rebar grade – A400 with diameter of 10 mm. Organized crack was formed by installing plate with thickness of 0,5 mm and height of 30 mm on the rebar in the zone of maximum moments.*

Results. *The experiments confirmed the hypothesis about the beams rigidity with pre-organized cracks in comparison with stochastic cracks under the influence of long-term loading. As a result, the beams with pre-organized cracks provide the smaller deflection after long-term period than the beams without organized cracks. Thus, the proposed method of the deflections calculation of the reinforced concrete beams with pre-organized cracks under the long-term loading helps to reduce deflection to 33%.*

Discussion and conclusion. *The findings of this study suggest that the presence of pre-organized cracks reduces the beams deflections in comparison with the specimens of section, and such method actually regulates the stress-strain state of reinforced concrete structures and leads to the smooth deformation at all stages under the influence of long-term loading.*

KEYWORDS: *cracking, stiffness, deformation, deflection, bending element, energy theory, pre-organized cracks, long-term loading, reinforced concrete beam, creep.*

ВВЕДЕНИЕ

При деформировании железобетонной балки происходит образование трещин в растянутой зоне. Появление трещины можно представить как мгновенный разрыв бетона, который приводит к возникновению упругих волн в бетоне и колебательному движению балки [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10]. Динамические процессы, инициированные появлением трещин в бетоне, оказывают влияние на развитие существующих трещин и приводят к появлению новых трещин. Железобетонные конструкции подвержены трещинообразованию не только при действии кратковременных нагрузок, но и при действии длительных статических нагрузок. В статически нагруженной конструкции динамические эффекты проявляются в меньшей степени, однако они также оказывают существенное влияние на процесс трещинообразования. При действии длительных статических нагрузок в железобетонных конструкциях наблюдаются эффекты ползучести, которые тесно связаны с процессом трещинообразования. С одной стороны, образование трещин приводит к перераспределению напряжений в конструкции, что в свою очередь оказывает влияние на развитие необратимых деформаций ползучести. С другой стороны, развитие деформаций ползучести может вызывать образование трещин [11,12,13,14,15,16,17,18].

На основе энергетической теории [19,20,21] были выдвинуты следующие гипотезы: 1) интенсивность процесса трещинообразования уменьшается при снижении уровня кинетической энергии, что в случае балок достигается введением в растянутую зону заранее организованных трещин; 2) введение организованных трещин в растянутую зону балок, нагруженных длительной статической нагрузкой, приводит к перераспределению напряжений и снижению интенсивности процесса трещинообразования и накоплению необратимых деформаций ползучести.

В соответствии с гипотезой проф. В.М. Митасова [22,23,24], при образовании трещины часть энергии растянутого бетона в ее окрестности рассеивается, а обратимая часть воспринимается арматурой и нетреснувшей (работоспособной) частью сечения. Был проведен физический эксперимент на железобетонных балках с заранее организованными трещинами, который показал, что гипотеза о переходе обратимой энергии растянутого бетона на арматуру подтвердилась.

На рисунке 1 показана условная схема образования и стабилизации трещины.

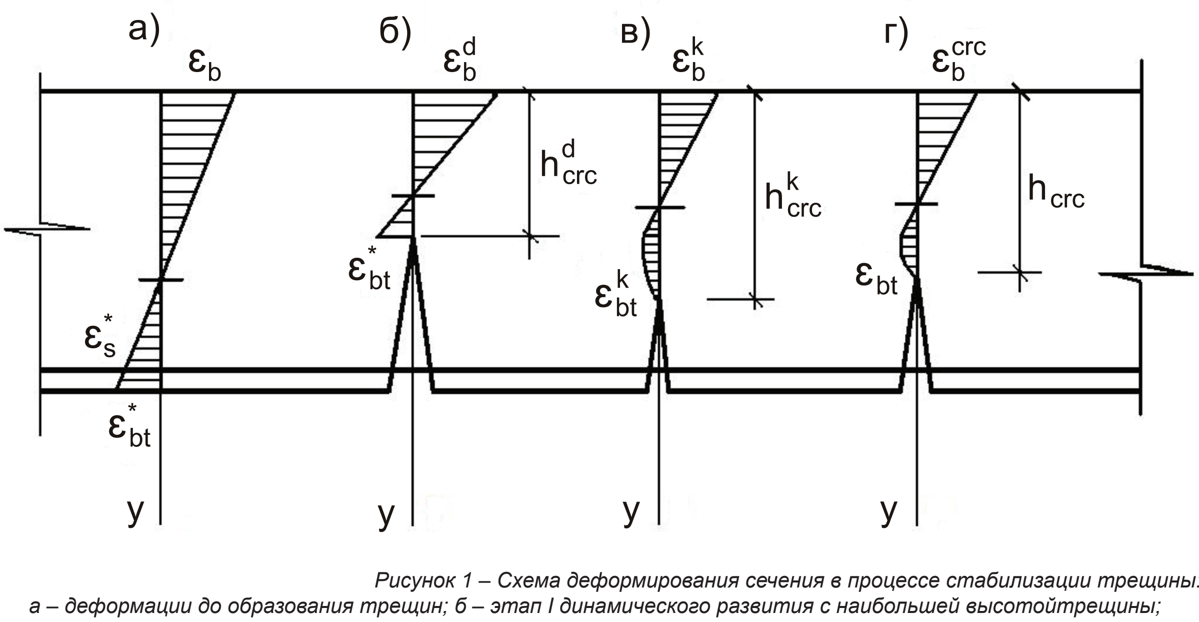


Рисунок 1 – Схема деформирования сечения в процессе стабилизации трещины: а – деформации до образования трещин; б – этап I динамического развития с наибольшей высотойтрещины; в – к-ый этап колебаний системы с минимальной высотой сечения; г – стабилизированное состояние сечения

Figure 1 – Scheme of section deformation by the stability cracks' process: a – deformation till cracks' occurring; b – Ist dynamic developing stage with the maximum cracks' height; c – n-stage of sway system with minimal height section; d – stabilized section condition

В рамках энергетической теории сопротивления железобетона (диаграммно-энергетический подход) удалось решить задачу перехода из состояния до образования трещины к состоянию с трещиной. При этом отмечен динамический характер ее (трещины) образования.

Данная статья является продолжением опубликованной ранее [25].

Настоящая работа является исследованием особенностей деформирования железобетонных балок с заранее организованными трещинами и без организованных трещин при действии длительных нагрузок с различными уровнями нагружения.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Бетон для образцов готовили как в лабораторных, так и в заводских условиях на портландцементе марки 500 при В/Ц = 0,71; состав бетона 1:1,9:4 (по весу); кубиковая прочность на 28-е сутки – 13,85 МПа; прочность призм размерами 10*10*40 см – 11,48 МПа; расчетный пролет 78 см; арматура периодического профиля класса А400 диаметром 10 мм.

Организованные трещины образованы установкой пластины толщиной 0,5 мм и высотой 30 мм на арматуру в зоне максимальных моментов.

В возрасте 28 сут балки, предназначенные для исследования влияния длительной нагрузки, устанавливали в устройства, создающие постоянную во времени нагрузки в виде одних сосредоточенных сил. Средние деформации сжатого бетона и растянутой арматуры замеряли в зоне поперечного изгиба на базе 260 мм индикаторами часового типа с ценой деления 0,001; прогибы – замеряли прогибомерами Аистова с ценой деления 0,01 мм, установленными в плоскости среднего поперечного сечения балок. Армирование одиночное и защитный слой – 20 мм (рисунок 2) [25].

С помощью рычажной системы железобетонные балки испытывались длительной нагрузкой как однопролетные шарнирно опертые балки, загруженные одной сосредоточенной силой. В испытании использовались гири массой 20 кг. На рисунках 3, 4 представлена установка для испытания железобетонных балок при воздействии длительных нагрузок.

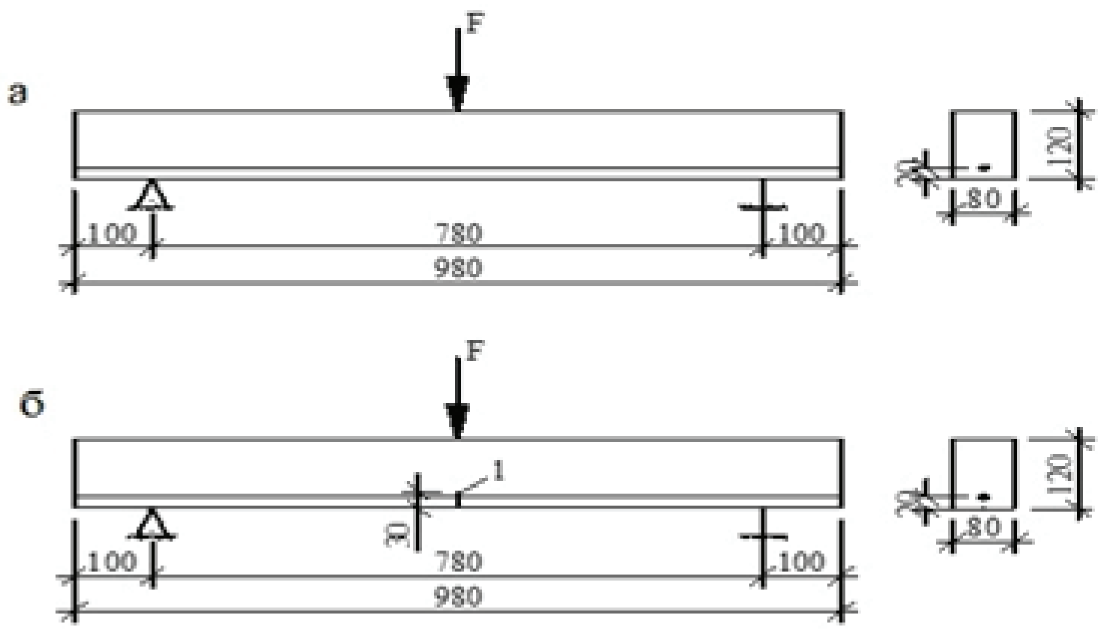


Рисунок 2 – Схема железобетонной балки: а – без организованных трещин; б – с организованными трещинами; 1 – организованная трещина

Figure 2 – Scheme of the reinforced concrete beam: a – without organized cracks; b – with organized cracks; 1 – organized crack

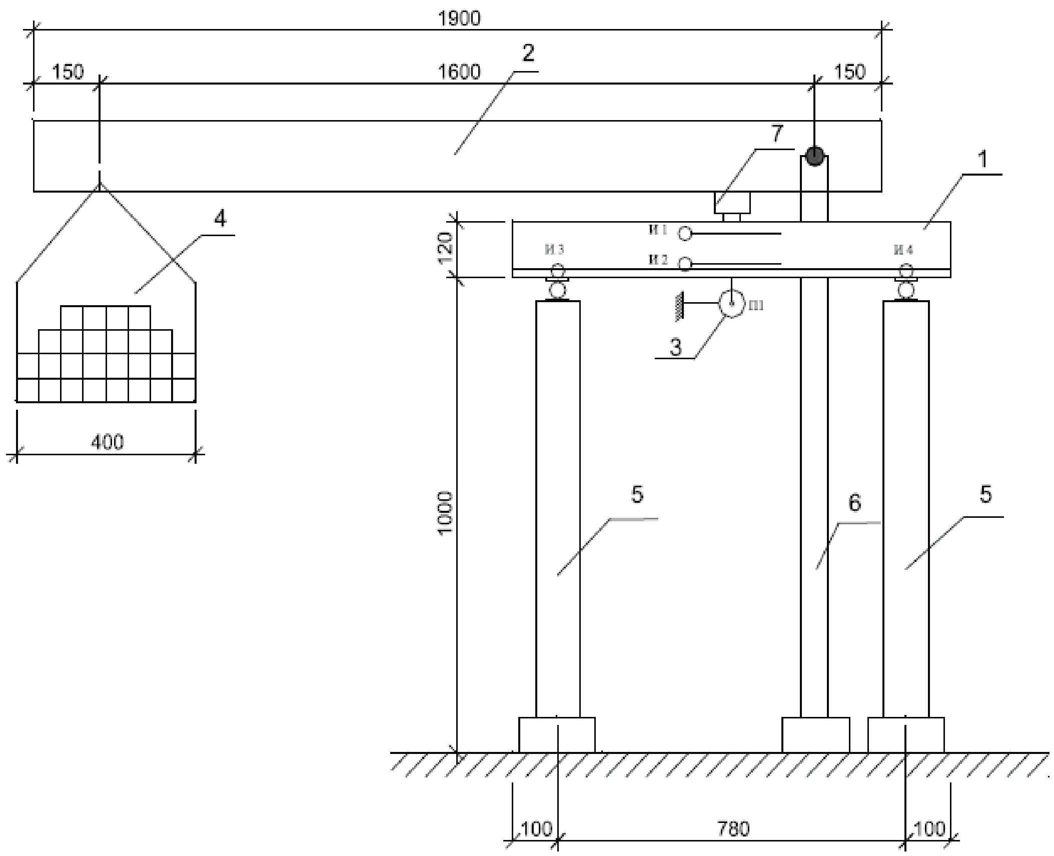


Рисунок 3 – Установка для испытания балок при длительных нагрузках [25]:
1 – опытная балка; 2 – рычаг (швеллер); 3 – прогибомер; 4 – металлические грузы;
5 – стойки из металлических труб; 6 – стойки из швеллера; 7 – динамометр

Figure 3 – Installation for beams under long-term loading testing [25]:
1 – experimental beam; 2 –channel; 3 - deflection meter; 4 – metal load; 5 –metal tube frames;
6 –channel frame; 7 – dynamometer

Рисунок 4 — Испытание железобетонных балок при воздействии длительных нагрузок

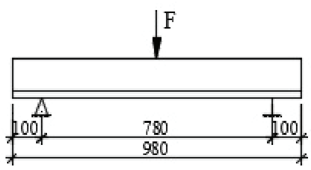
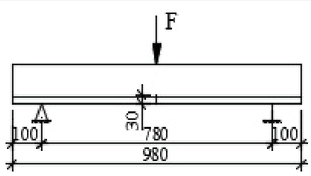
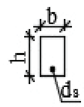
Figure 4 – Testing of the reinforced concrete beams under the long-term loading

В таблице 1 показана схема испытания балок без организованных трещин и с организованными трещинами, их поперечное сечение, а также различные параметры бетона и арматуры.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате обработки экспериментальных данных построены графики прогибов для балок без организованных трещин и с заранее организованной трещиной, испытанных на действие одной сосредоточенной силы под действием длительных нагрузок (рисунок 5). А также составлены таблицы изменения прогиба и высоты трещины во времени. Высота трещины измерялась с помощью микроскопа МПБ2.

ТАБЛИЦА 1
Схема испытания балок
TABLE 1
Scheme of beams' testing

Серия балок	Схема балок	Сечение в пролете	Материалы: Арматура		Бетон	С различным и уровнями нагружения	Размеры поперечного сечения, мм	
			d_s/μ,%	A_s, см^2	R_b, МПа		h_0	b
1	 		1Ø10 / 0,98	0,785	13,85	0,70-0,90	100	80

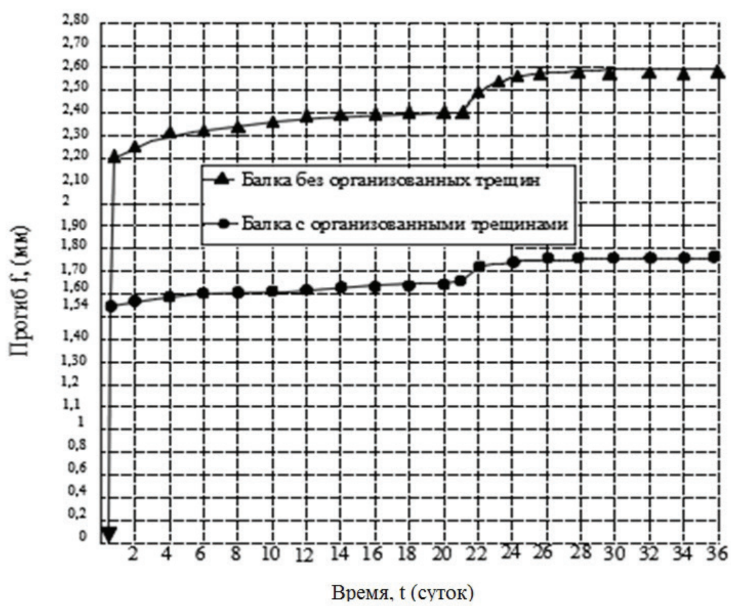


Рисунок 5 – Зависимости прогиба балок без организованных трещин и с организованными трещинами от времени, полученные экспериментально

Figure 5 – Dependence of the beams time deflection without organized cracks and with organized cracks, received by testing

ТАБЛИЦА 2
Значение прогибов в балках с организованной трещиной, испытанных при воздействии длительных нагружений
TABLE 2
Value of beams deflection with organized cracks, tested under the long-term loading

№ образца	Время t, суток	Прогиб, мм	Количество трещин, шт	Высота трещины над пластиной, см	Усилие F=0,85-0,95 Fраз,кгс
Образец 1 (балка с организованной трещиной)	1	1,54	9	75	$0{,}85\ F_{разрушения}$
	2	1,58	10	90	
	3	1,58	10	90	
	4	1,58	10	90	
	5	1,63	10	90	
	6	1,64	10	90	
	7	1,66	10	90	
	8	1,66	10	90	
	9	1,66	10	90	
	10	1,66	10	90	
	11	1,66	10	90	
	12	1,66	10	90	
	13	1,66	10	90	
	14	1,66	10	90	
	15	1,66	10	90	
	16	1,66	10	90	
	17	1,66	10	90	
	18	1,66	10	90	
	19	1,66	10	90	
	20	1,66	10	90	
	21	1,66	10	90	
	22	1,73	10	90	$0{,}95\ F_{разрушения}$
	23	1,76	10	90	
	24	1,76	10	90	
	25	1,76	10	90	
	26	1,76	10	90	
	27	1,76	10	90	
	28	1,76	10	90	
Образец 1 (балка с организованной трещиной)	29	1,76	10	90	$0{,}9F_{разрушение}$
	30	1,76	10	90	
	31	1,76	10	90	
	32	1,76	10	90	
	33	1,76	10	90	
	34	1,76	10	90	
	35	1,76	10	90	
	36	1,76	10	90	

ТАБЛИЦА 3
Значение прогибов в балках без организованных трещин, испытанных при воздействии длительных нагружений
TABLE 3
Value of beams deflection without organized cracks, tested under the long-term loading

№ образца	Время t, суток	Прогиб, мм	Количество трещин, шт	Высота трещины над пластиной, см	Усилие F=0,85-0,95 Fраз,кгс
Образец 2 (балка без организованных трещин)	1	2,23	11	80	$0{,}85\ F_{разрушения}$
	2	2,28	12	95	
	3	2,36	12	95	
	4	2,38	12	95	
	5	2,40	12	95	
	6	2,40	12	95	
	7	2,40	12	95	
	8	2,41	12	95	
	9	2,42	12	95	
	10	2,42	12	95	
	11	2,42	12	95	
	12	2,42	12	95	
	13	2,42	12	95	
	14	2,42	12	95	
	15	2,42	12	95	
	16	2,42	12	95	
	17	2,42	12	95	
	18	2,42	12	95	
	19	2,42	12	95	
Образец 2 (балка без организованных трещин)	20	2,42	12	95	$0{,}95\ F_{разрушения}$
	21	2,42	12	95	
	22	2,57	12	95	
	23	2,58	12	95	
	24	2,59	12	95	
	25	2,59	12	95	
	26	2,59	12	95	
	27	2,59	12	95	
	28	2,59	12	95	
	29	2,60	12	95	
	30	2,60	12	95	
	31	2,60	12	95	
	32	2,60	12	95	
	33	2,61	12	95	
	34	2,61	12	95	
	35	2,61	12	95	
	36	2,61	12	95	

На графике 5 изображены зависимости прогиба балок без организованных трещин и с заранее организованными трещинами от времени, полученные экспериментально.

Во время испытаний производили непрерывное наблюдение за поведением исследуемых образцов (появление трещин, выколов).

Для балок, испытанных при воздействии длительных нагружений, было установлено:

1.В балках без организованных трещин образовалось 12 трещин. Максимальный прогиб в центральной точке нижней грани балки при 0,85 $F_{разрушения}$ составил 2,42 мм и при 0,95 $F_{разрушения}$ - 2,61 мм. Максимальная высота трещины составила 95 мм. При добавлении нагрузки до 0,95 $F_{разрушения}$ количество, рост и ширина раскрытия трещин не изменились.

2.В балках с заранее организованной трещиной образовалось 10 трещин. Максимальный прогиб в центральной точке нижней грани балки при 0,85 $F_{разрушения}$ составляет 1,66 мм и при 0,95 $F_{разрушения}$ составляет 1,76 мм. Максимальная высота трещины составила 90 мм. Разрушение произошло в сечении под приложенной силой. Скорость развития деформаций уменьшалась во времени.

Таким образом, балки с заранее организованными трещинами обеспечивают меньшее приращение прогибов в течение длительного времени, чем балки без организованных трещин.

В начальный момент времени прогибы нарастают с большой скоростью, а с течением времени скорость роста прогиба уменьшается. Это обусловлено развитием во времени деформаций ползучести, образованием стохастических трещин и сопутствующим перераспределением напряжений. График зависимости для балки с организованной трещиной является более пологим по сравнению с зависимостью для балки без организованной трещины, что обусловлено меньшей интенсивностью процессов развития деформаций ползучести и трещинообразования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подтверждена гипотеза о том, что введение организованных трещин в растянутую зону балок, нагруженных длительной статической нагрузкой, приводит к перераспределению напряжений и снижению интенсивности процесса трещинообразования и накоплению необратимых деформаций ползучести.

Эффекты от введения организованных трещин в растянутую зону балки показали, что железобетонные балки с заранее организованными трещинами под воздействием длительных статических нагрузок имеют меньшие прогибы по сравнению с балками без организованных трещин.

Экспериментальные исследования показали, что с помощью заранее организованной трещины в процессе производства появляются возможности для регулирования напряженно-деформированного состояния и процесса трещинообразования в железобетонных изгибаемых элементах, что ведет к плавному деформированию последних на всех этапах загружения при воздействии длительных нагрузок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Hua Zhu. Crack formation of steel reinforced concrete structure under stress in construction period. Frattura ed Integrità Strutturale, 36 (2016), pp. 191-200.

2. Käthler et al.Effect of cracks on chlorideinduced corrosion of steel in concrete. Norwegian Public Roads Administration, NPRA reports, Norwegian Public Roads Administration, 5(2017), pp. 1-41.

3. Barris C, Torres Ll, Baena M, Pilakoutas K, Guadagnini M. Serviceability limit state of frp rc beams. advances in structural engineering, 15(2012), pp.653-63.

4. Yang K.H., Singh J., Lee B.Y., Kwon S.J. Simple technique for tracking chloride penetration in concrete based on the crack shape and width under steady-state conditions. Sustainability, 9(2017), pp.1-282.

5. Wang H.L., Dai J.G., Sun X.Y., Zhang X.L. Characteristics of concrete cracks and their influence on chloride penetration. Constr. Build. Mater. 107(2016), pp. 216–225.

6. Ji Y. Hu Y., Zhang L. Laboratory studies on influence of transverse cracking on chloride-induced corrosion rate in concrete. Cem. Concr. Compos. 69(2016), pp. 28–37.

7. Oh H. K., Park S. M., Hong S. I. Hot deformation and cracking during compression of 21-4N steel. Advanced Materials Research, 1102 (2015), pp. 12-21.

8. Карпенко Н.И., Соколов Б.С., Радайкин О.В. К расчету прочности, жесткости и трещиностойкости внецентренно сжатых железобетонных элементов с применением нелинейной деформационной модели. Известия КГАСУ, 2013, №4 (26). – С.113 – 120.

9. Annette B. R., Jakob F., Lars G. H. Cracking in flexural reinforced concrete members. dol: 10.1016/j.proeng.2017.02.102. Procedia Engineering 172 (2017), pp. 922 – 929.

10. J. Fisker, L. G. Hagsten, Mechanical model for the shear capacity of R/C beams without

stirrups: A proposal based on limit analysis. Engineering Structures 115 (2016), pp.220-231.

11. Mao, L.; Barnett, S.J. Investigation of toughness of ultra-high performance fibre reinforced concrete (UHPFRC) beam under impact loading. Int. J. Impact Eng. 99 (2017), pp. 26–38.

12. Jana D, Katarína T. Deflection of a beam considering the creep. Structural and Physical Aspects of Construction Engineering. 190(2017), pp. 459 – 463.

13. Yousefieh N., Joshaghani A., Hajibandeh E., Shekarchi M. Influence of fibers on drying shrinkage in restrained concrete. Constr. Build. Mater. 148(2017), pp. 833–845.

14. Barris C, Torres LI, Turon A, Baena M, Catalan A. An experimental study of the flexural behaviour of glass fiber reinforced polymer reinforced concrete beams and comparison with prediction models. composite structures 91(2009), pp.286-295.

15. Kara IF, Ashour AF. Flexural performance of fiber reinforced polymer reinforced concrete beams. Composite structures 94(2012), pp.1616-1625.

16. Miàs C, Torres L, Turon A, Baena M, Barris C. A simplified method to obtain time dependent curvatures and deflections of concrete members reinforced with fiber reinforced polymer bars. Composite structures 92 (2010), pp.1833-38.

17. Goel M. D., Deformation, energy absorption and crushing behavior of single, double and multi-wall foam filled square and circular tubes. Thin-Walled Structures, 90(2015), pp. 1-11.

18. Naseri F., Jafari F., Mohseni E., Tang W., Feizbakhsh A., Khatibinia M. Experimental observations and SVM-based prediction of properties of polypropylene fibres reinforced self-compacting composites incorporating nano-CuO. Constr. Build. Mater. 143 (2017), pp. 589–598.

19. Митасов В.М. Определение напряжений арматуры железобетонного элемента в сечение с трещиной. Известия вузов. 1988. № 3. С. 116 – 118.

20. Митасов В.М., Адищев В.В. Основные предпосылки построения энергетической теории сопротивления железобетона. Известия вузов. 2010. № 5. С.3 – 9.

21. Митасов. В.М., Адищев В.В. Основные положения энергетической теории сопротивления железобетон. Известия вузов. 2010. № 6. С. 3 – 8.

22. Михайлова Н.С., Митасов В.М. Напряженно-деформированное состояние железобетонной балки с трещиной. Материалы Международных академических чтений. Курск : 2007. С. 104 – 108.

23. Михайлова Н.С. Экспериментальные исследования железобетонных балок без трещин и заранее намеченной трещины. Известия вузов. 2007. № 4. С. 110 – 113.

24. Митасов В.М., Логунова М.А., Стаценко Н.В. Новые подходы к решению задач деформирования железобетонных конструкции с трещинами. Известие вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость Том 7, №1, 2017. С.77 – 84.

25. Митасов В.М., Чхум А. Деформирование железобетонных балок с формообразующими элементами при длительных нагрузках. Современные наукоемкие технологии. 2018. № 3. С. 79-84.

REFERENCES

1. Hua Zhu. Crack formation of steel reinforced concrete structure under stress in construction period. Frattura ed Integrità Strutturale, 36 (2016), pp. 191-200.

2. Käthler et al.Effect of cracks on chlorideinduced corrosion of steel in concrete. Norwegian Public Roads Administration, NPRA reports, Norwegian Public Roads Administration, 5(2017), pp. 1-41.

3. Barris C, Torres LL, Baena M, Pilakoutas K, Guadagnini M. Serviceability limit state of frp rc beams. advances in structural engineering, 15 (2012), pp.653-63.

4. Yang K.H., Singh J., Lee B.Y., Kwon S.J. Simple technique for tracking chloride penetration in concrete based on the crack shape and width under steady-state conditions. Sustainability, 9 (2017), pp.1-282.

5. Wang H.L., Dai J.G., Sun X.Y., Zhang X.L. Characteristics of concrete cracks and their influence on chloride penetration. Constr. Build. Mater. 107(2016), pp. 216–225.

6. Ji Y. Hu Y., Zhang L. Laboratory studies on influence of transverse cracking on chloride-induced corrosion rate in concrete. Cem. Concr. Compos. 69 (2016), pp. 28–37.

7. Oh H. K., Park S. M., Hong S. I. Hot deformation and cracking during compression of 21-4N steel. Advanced Materials Research, 1102 (2015), pp. 12-21.

8. Karpenko N.I., Sokolov B.S., Radaikin O.V. K raschetu prochnosti, zheskosti i treshchinostoykosti vnetsentrenno szhatykh zhelezobetonnykh elementov s primeneniyem nelineynoy deformatsionnoy modeli. [To the calculation of strength, hardness and fracture toughness of eccentrically compressed concrete elements by using nonlinear deformation models], Izvestiya KGASU, 2013, no 4 (26). – pp. 113 – 120.

9. Annette B. R., Jakob F., Lars G. H. Cracking in flexural reinforced concrete members. doi:

10.1016/j.proeng.2017.02.102. Procedia Engineering 172 (2017), pp. 922 – 929.

10. J. Fisker, L. G. Hagsten, Mechanical model for the shear capacity of R/C beams without stirrups: A proposal based on limit analysis. Engineering Structures 115 (2016), pp.220-231.

11. Mao, L.; Barnett, S.J. Investigation of toughness of ultra-high performance fibre reinforced concrete (UHPFRC) beam under impact loading. Int. J. Impact Eng. 99 (2017), pp. 26–38.

12. Jana D, Katarína T. Deflection of a beam considering the creep. Structural and Physical Aspects of Construction Engineering. 190 (2017), pp. 459 – 463.

13. Yousefieh N., Joshaghani A., Hajibandeh E., Shekarchi M. Influence of fibers on drying shrinkage in restrained concrete. Constr. Build. Mater. 148 (2017), pp. 833–845.

14. Barris C, Torres LL, Turon A, Baena M, Catalan A. An experimental study of the flexural behaviour of glass fiber reinforced polymer reinforced concrete beams and comparison with prediction models. composite structures 91(2009), pp.286-295.

15. Kara IF, Ashour AF. Flexural performance of fiber reinforced polymer reinforced concrete beams. Composite structures 94 (2012), pp.1616-1625.

16. Miàs C, Torres L, Turon A, Baena M, Barris C. A simplified method to obtain time dependent curvatures and deflections of concrete members reinforced with fiber reinforced polymer bars. Composite structures 92 (2010), pp.1833-38.

17. Goel M. D., Deformation, energy absorption and crushing behavior of single, double and multi-wall foam filled square and circular tubes. Thin-Walled Structures, 90 (2015), pp. 1-11.

18. Naseri F., Jafari F., Mohseni E., Tang W., Feizbakhsh A., Khatibinia M. Experimental observations and SVM-based prediction of properties of polypropylene fibres reinforced self-compacting composites incorporating nano-CuO. Constr. Build. Mater. 143 (2017), pp. 589–598.

19. Mitasov V.M. Opredelenie naprjazhenij armatury zhelezobetonnogo jelementa v sechenie s treshhinoj [Determination of reinforcement stresses of the reinforced concrete element in the section with crack]. *Izvestija vuzov*,1988, no 3, pp. 116 – 118. (in Russian)

20. Mitasov V.M., Adishchev V.V. Osnovnye predposylki postroenija jenergeticheskoj teorii soprotivlenija zhelezobetona [The basic preconditions for composing the energy theory of the reinforced concrete resistance]. *Izvestija vuzov*, 2010, no 5, pp. 3 – 9. (in Russian)

21. Mitasov V.M., Adishchev V.V. Osnovnye polozhenija jenergeticheskoj teorii soprotivlenija zhelezobeton [Basic points of the energy theory of the reinforced concrete resistance]. *Izvestiya vuzov*, 2010, no 6, pp. 3 – 8. (in Russian)

22. Mihajlova N.S., Mitasov V.M. Naprjazhennodeformirovannoe sostojanie zhelezobetonnoj balki s treshhinoj [Stress-strain state of the reinforced concrete beam with the crack]. *Materialy Mezhdunarodnyh akademicheskih chtenij*, Kursk. 2007. pp.104 – 108. (in Russian)

23. Mihajlova N.S. Jeksperimental'nye issledovanija zhelezobetonnyh balok bez treshhin i zaranee namechennoj treshhiny [Experimental studies of reinforced concrete beams without cracks and with the predetermined crack]. *Izvestija vuzov*, 2007, no 4, pp. 110 – 113. (in Russian)

24. Mitasov V.M., Logunova M.A., Statsenko N.V. Novyye podkhody k resheniyu zadach deformirovaniya zhelezobetonnykh konstruktsii s treshchinami [New approaches to solve the problems of deformation of reinforced concrete structures with cracks]. I*zvestiye vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo*, Nevdizhimost' Tom 7, no 1, 2017. pp.77– 84. (in Russian)

25. Mitasov V.M., Chkhum A. Deformirovaniye zhelezobetonnykh balok s formoobrazuyushchimi elementami pri dlitel'nykh nagruzkakh [Deformation of reinforced concrete beams with forming elements under long-term loading]. *Sovremennyye naukoyemkiye tekhnologii*, 2018, no 3, pp. 79-84. (in Russian)

Поступила 03.06.2018, принята к публикации 20.08.2018.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: Никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Чхум Амнот – аспирант кафедры железобетонных конструкций, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)» (630008, Новосибирск, ул. Ленинградская, д.113, e-mail: chhom_amnoth@yahoo.com).

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Ckhum Amnoth – postgraduate student of the Reinforced Concrete Structures Department, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin) (630008, Novosibirsk, 113, Leningradskaya St., e-mail: chhom_amnoth@yahoo.com).