

УДК 624.012.45

*МИТАСОВ ВАЛЕРИЙ МИХАЙЛОВИЧ, докт. техн. наук, профессор,  
mitassovv@mail.ru*

*ЛОГУНОВА МАРИЯ АЛЕКСАНДРОВНА, канд. техн. наук,  
m-nblack@yandex.ru*

*СТАЦЕНКО НАТАЛЬЯ ВАЛЕРЬЕВНА, аспирант,  
stacnat@yandex.ru*

*Новосибирский государственный  
архитектурно-строительный университет (СИБСТРИН),  
630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113*

### **ВЛИЯНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЗАРАНЕЕ ОРГАНИЗОВАННЫХ ТРЕЩИН НА ДЕФОРМИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

В работе приведены результаты испытаний железобетонных балок, в которых заранее организованные трещины расположены на расстоянии  $1/3 l_0$ ,  $1/4 l_0$  от опор, в середине пролета и в середине пролета над арматурой. Приведены величины прогибов и относительных деформаций сжатой и растянутой зоны в сравнении с балками, где трещины образуются стохастически. Установлено, что пластины-трещинообразователи, расположенные в сечениях как в зоне максимального момента, так и вне ее, уменьшают прогиб балок.

**Ключевые слова:** заранее организованные трещины; железобетонные балки; жесткость; трещиностойкость; деформативность; прогиб.

*VALERII M. MITASOV, DSc, Professor,  
mitassovv@mail.ru*

*MARIA A. LOGUNOVA, PhD,  
m-nblack@yandex.ru*

*NATALYA V. STASENKO, Research Assistant,  
stacnat@yandex.ru*

*Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering,  
113, Leningradskaya Str., 630008, Novosibirsk, Russia*

### **PRECRACKING EFFECT ON DEFORMATION OF REINFORCED CONCRETE ELEMENTS**

The paper presents the results of reinforced concrete beams tests with precracking at a specified located distances from supports, in the center of the span and above the reinforcement bars. The values of deflections and relative deformations of compressed and tensile zones are compared with the beams where cracks are formed stochastically. It is shown that crack forming plates locate both in the maximum torque zone and beyond it that reduces the beam deflections.

**Keywords:** precracking; reinforced concrete beams; rigidity; crack resistance; deformability; deflection.

Сегодня во всем мире проводятся исследования конструкций с целью предотвращения появления в них трещин, уменьшения возможной ширины их раскрытия, «залечивания» существующих трещин [1–4].

На кафедре железобетонных конструкций Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин) с 2007 г. проводятся эксперименты с балками, в которых установлены тонкие металлические или пластиковые пластины, эмитирующие начальные трещины (далее по тексту – заранее организованные трещины). Такие трещины не только не ухудшают работу конструкции, но, напротив, уменьшают прогибы изгибаемых элементов. Проведенные ранее испытания были спланированы таким образом, что заранее организованные трещины устанавливали в соответствии с классической схемой разрушения в предельном состоянии: в зоне максимального изгибающего момента [5–7]. Результаты испытаний показали, что в этом случае балки с трещинами-пластинами получают прогиб, до 30 % меньший по сравнению с балками, где трещины образуются стохастически. Данный эффект был зафиксирован как с железобетонными, так и с бетонными балками [8]. Теоретическое обоснование полученных результатов с позиций энергетической теории сопротивления железобетона представлено в работах [9, 10].

С учетом склонности железобетона к перераспределению усилий в зависимости от количества и расположения рабочей арматуры такой же эффект прогнозируется и в отношении места, количества и величины организованных трещин. Поэтому были проведены эксперименты с отличным от классического подхода заданием схем трещинообразования. Данные исследования проводятся с целью подтверждения факта получения второго (первый – арматура) регулятора напряженно-деформированного состояния железобетонных конструкций.

Для проведения испытаний изготовили три серии железобетонных балок с кубами и призмами. Все образцы из мелкозернистого бетона с прочностью, соответствующей классу В15, имели одинаковые геометрические размеры и армирование. Использовали арматурную сталь класса А400 диаметром 8 мм. Организованные трещины в виде пластмассовых пластин толщиной 0,3 мм и высотой 35 мм были установлены в сечениях растянутой зоны элемента. Для исключения влияния дополнительных факторов при проведении модельного эксперимента решено поперечную арматуру не устанавливать.

Испытывали 9 балок: три образца без организованных трещин, два – с двумя организованными трещинами на расстоянии  $1/3 l_0$  от опор, три – с двумя организованными трещинами на расстоянии  $1/4 l_0$  от опор и один образец с трещиной в середине пролета.

В качестве расчетной схемы при испытании изгибаемых образцов принята схема шарнирно опертой однопролетной балки, нагруженной одной сосредоточенной силой  $F$ , приложенной на расстоянии  $l_0/2$  пролета. Процент армирования – 0,5 %, защитный слой – 35 мм (рис. 1).

Загружение балок производилось гидравлическим домкратом ступенями по 0,74 кН до разрушения. Для регистрации прогибов балок использовали индикатор часового типа с ценой деления 0,01 мм. Относительные деформации фиксировали индикаторами часового типа с ценой деления 0,001 мм и базой 200 мм.

Для оценки прочностных свойств бетона были испытаны кубы и призмы в день проведения испытания балок. На 28-е сутки с момента изготовления конструкции проведены испытания кубов для оценки класса бетона.

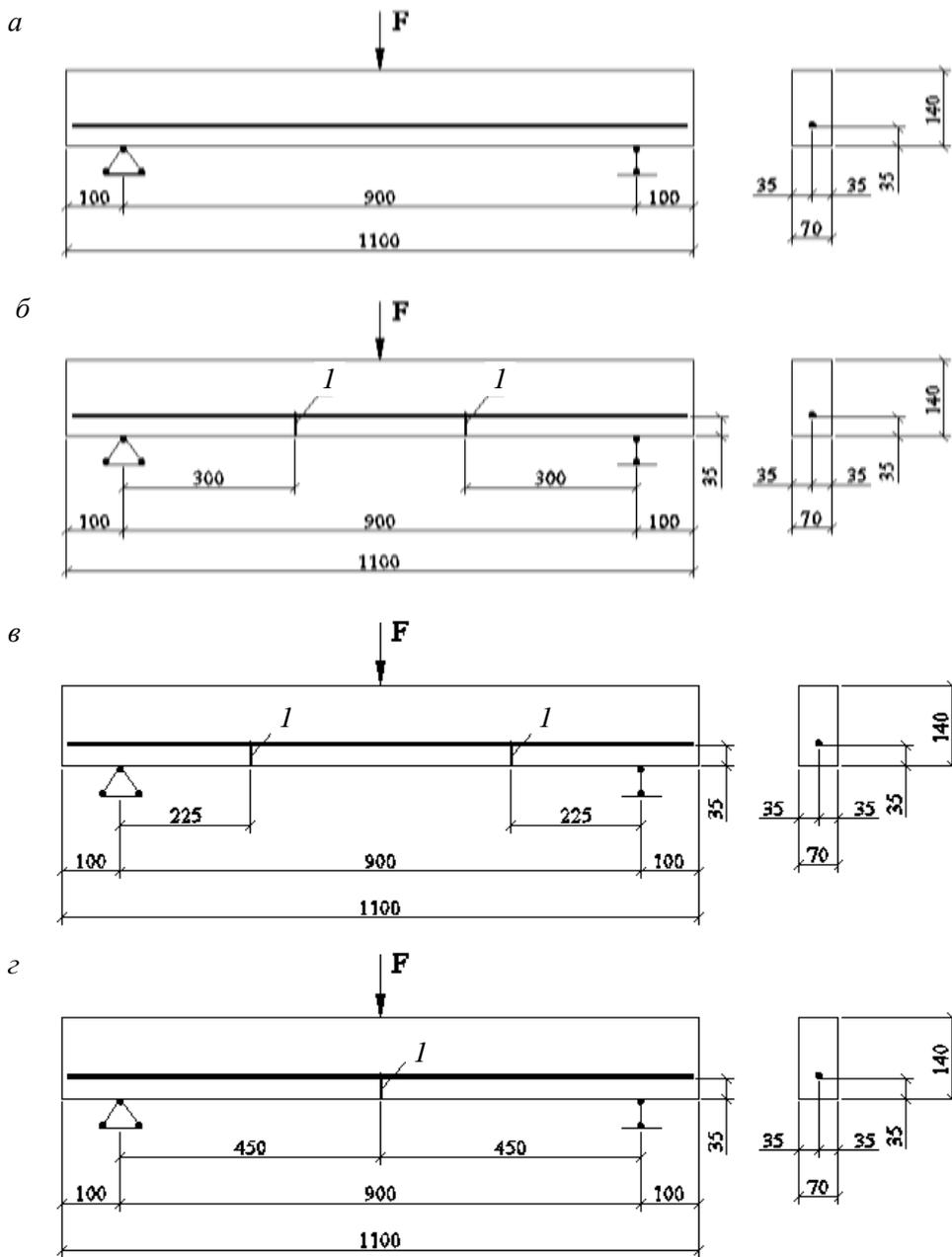


Рис. 1. Схема расположения заранее организованных трещин в железобетонных балках: а – без организованных трещин; б – с двумя организованными трещинами на расстоянии  $1/3 l_0$  от опор; в – с двумя организованными трещинами на расстоянии  $1/4 l_0$  от опор; г – с организованным трещиной в середине пролета; I – организованный трещина

Значения разрушающей силы для балок всех серий с учетом фактической прочности бетона, определенной по испытаниям стандартных кубов, по-

лучены одинаковыми, их разброс находится в пределах 10 %. Диапазон составляет от 9,1 до 15 кН.

В результате обработки экспериментальных данных построены графики прогибов (рис. 2) и относительных регистрируемых деформаций наиболее сжатого и растянутого волокон (рис. 3) в зависимости от нагрузки для балок без организованных трещин и с заранее организованными трещинами, испытанных на действие одной сосредоточенной силы при кратковременном нагружении. В таблице приведены осредненные значения прогибов  $f$  и деформаций  $\varepsilon$  наиболее растянутого волокна в зависимости от нагрузки.

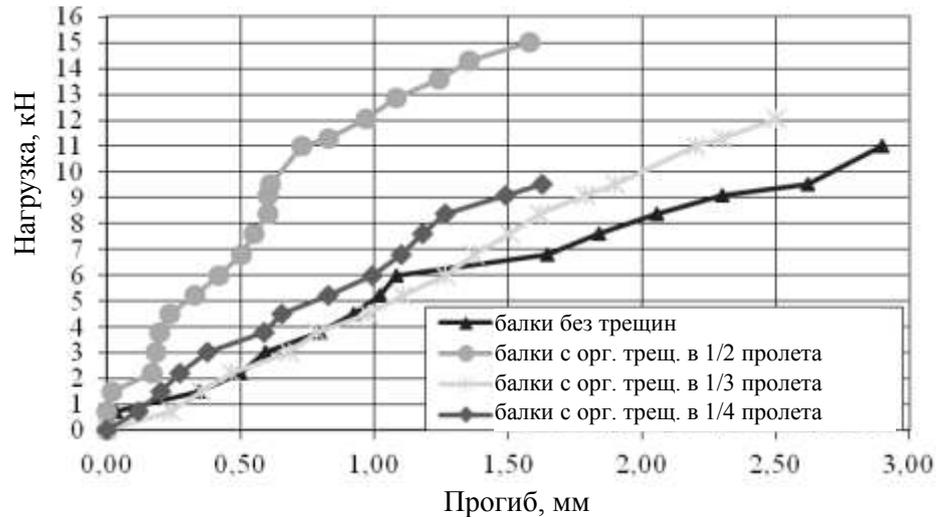


Рис. 2. График зависимостей прогиба  $f$  железобетонных балок от нагрузки  $F$

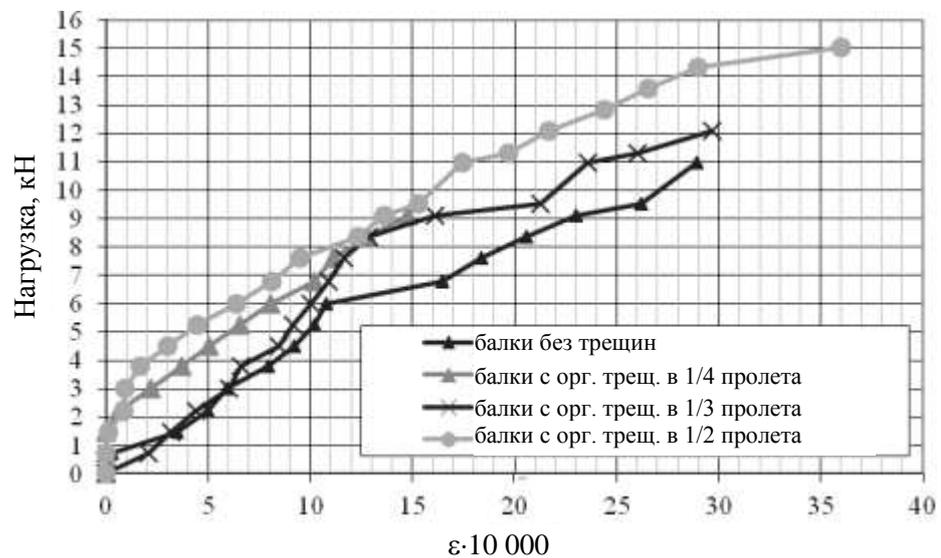


Рис. 3. График зависимостей деформации  $\varepsilon$  наиболее растянутого волокна железобетонных балок от нагрузки

## Осредненные значения прогибов и деформаций балок

Нагрузка $F$ , кН	Осредненное значение прогибов $f$ (мм) при расположении заранее организованных трещин				Осредненное значение Деформаций $\varepsilon$ ( $\cdot 10^{-4}$ ) при расположении заранее организованных трещин			
	Нет	$l_0/3$	$l_0/4$	$l_0/2$	Нет	$l_0/3$	$l_0/4$	$l_0/2$
2,236	0,48	0,36	0,22	0,27	4,75	5,25	8,70	1,30
3,008	0,57	0,61	0,39	0,48	6,35	7,50	9,20	1,50
4,504	1,55	0,95	0,73	0,90	10,30	10,45	10,40	4,00
5,992	1,41	1,26	1,07	1,20	12,90	12,95	13,70	7,90
9,104	2,47	2,07	1,88	1,93	23,20	18,75	17,70	16,10
10,984	2,74	2,44	–	2,27	28,45	26,70	–	20,40

Для исследуемых элементов было установлено следующее:

В балках без организованных трещин образовались 3 нормальные трещины и одна наклонная. Максимальный прогиб составил 3,51 мм при нагрузке 9,51 кН.

В балках с двумя организованными трещинами на расстоянии  $1/3 l_0$  от опор образовались 3 нормальные трещины, в том числе одна стохастическая посередине. Максимальный прогиб составил 2,87 мм при нагрузке 12,07 кН.

В балках с двумя организованными трещинами на расстоянии  $1/4 l_0$  от опор образовались 3 нормальные трещины, из которых одна была стохастическая в зоне максимального момента – по центру пролета. Максимальный прогиб составил 2,16 мм при нагрузке 10,98 кН.

Характерно, что изначально первая трещина образуется в нижней части балки в середине пролета, а последующие две раскрываются, где заранее были установлены пластины, усилие образования этих трещин составляет 0,3–0,5 от разрушающего.

В балках с организованными трещиной в середине пролета образовались 3 нормальные трещины. Максимальный прогиб составил 3,24 мм при нагрузке 15 кН.

Дополнительно была проведена серия экспериментов с железобетонными балками, в которых заранее организованная трещина устанавливалась в середине пролета над арматурой, т. е. с сохранением защитного слоя. Сравнение данных образцов производилось с балками, в которых трещинообразующие пластины располагались на расстоянии  $1/3 l_0$  от опор и с балками без заранее организованных трещин. Порядок проведения эксперимента, схема нагружения, размеры образцов и армирование соответствовали эксперименту, описанному выше. Результаты испытаний по величине прогибов, деформаций сжатия и растяжения показаны на рис. 4–6.

Результаты эксперимента показали, что установка образателей трещин без разрыва защитного слоя не приводит к ожидаемому эффекту, т. е.

не уменьшает прогибов балок и их деформаций в растянутой зоне. Однако организация трещин вне зоны максимальных моментов приводит к положительному эффекту, что позволяет прогнозировать возможность влияния на напряженно-деформированное состояние изгибаемого элемента искусственного трещинообразования.

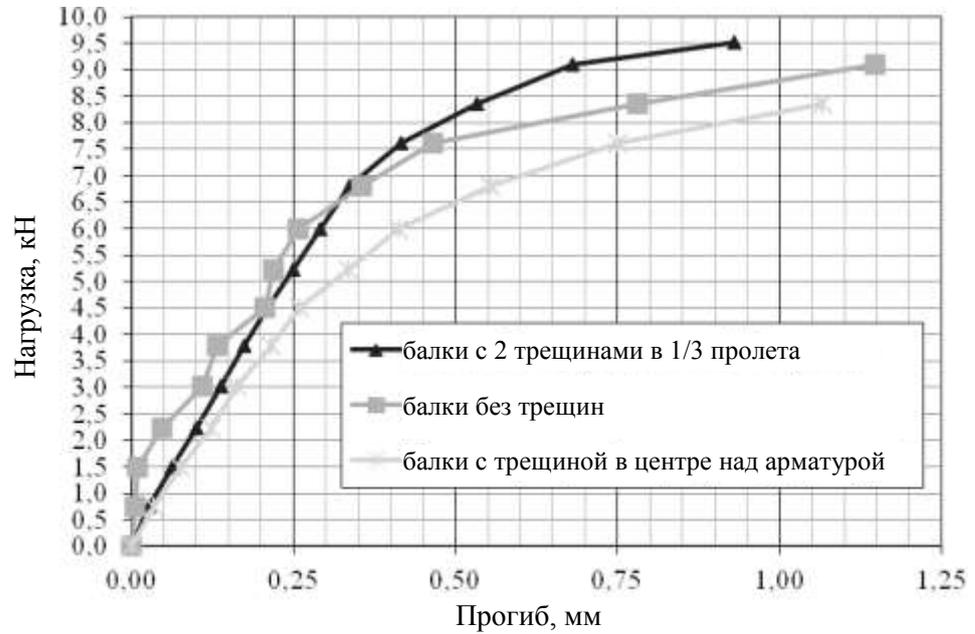


Рис. 4. График зависимостей прогиба образцов от нагрузки

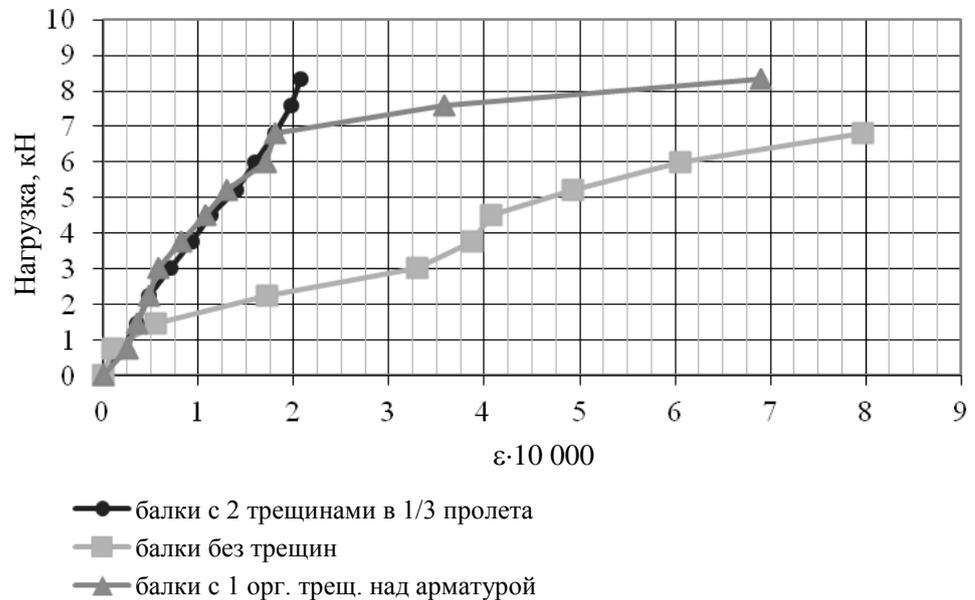


Рис. 5. График зависимостей деформаций сжатия образцов от нагрузки

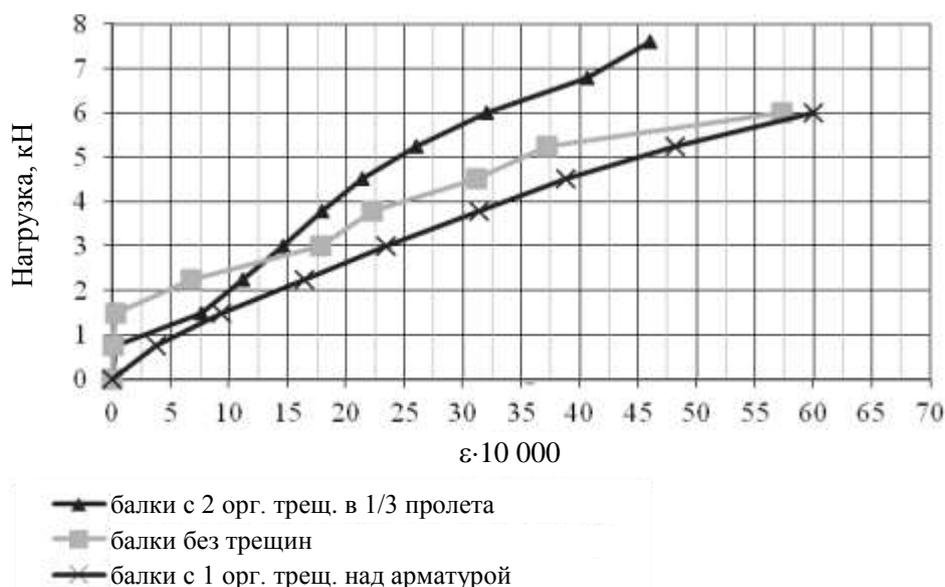


Рис. 6. График зависимостей деформаций растяжения образцов от нагрузки

Характерными в этих экспериментах получились значения деформаций в сжатой зоне балок, где пластины размещались на расстоянии  $1/3 l_0$  от опор, их значения были существенно меньшими, чем в балках со стохастическим трещинообразованием. Следует также отметить возможное повышение несущей способности таких элементов в связи с тем, что предельные деформации сжатой зоны весьма малы. В конструкциях такого типа вероятность потребности рабочей арматуры в сжатой зоне снижена. Малые деформации в сжатой зоне могут свидетельствовать о том, что хрупкого разрушения при такой расстановке заранее организованных трещин не может произойти или произойдет при большей относительной высоте сжатой зоны, чем  $\xi_R$ . Однако последние предположения нуждаются в отдельной экспериментальной проверке.

Испытания позволили сделать следующие выводы:

1. Установлено, что даже в случае заранее организованных трещин вне зоны максимального момента прогибы таких балок ниже, чем балок со стохастическими трещинами.

2. Балки с организованными трещинами на расстоянии  $1/4 l_0$  от опор при кратковременном нагружении обладают меньшим прогибом в отличие от остальных балок. При этом у балок с организованными трещинами на расстоянии  $1/3 l_0$  от опор прогиб больше, чем у балок с организованной трещиной в середине пролета при одинаковой нагрузке.

3. В балках с заранее организованными трещинами на расстоянии  $1/3 l_0$  от опор деформации сжатой зоны до 4 раз меньше деформаций балок со стохастическими трещинами.

4. Деформации бетона сжатой зоны в балках с двумя организованными трещинами в  $1/3$  пролета и с одной организованной трещиной над арматурой практически совпадают в зоне эксплуатационных нагрузок.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Premature cracking of concrete bridge decks: causes and methods of prevention* / R. Purvis, K. Babei, N. Udani, A. Qanbari, W. Williams // *Proceedings of the 4th International Bridge Engineering Conference*, Washington, DC. – 1995.
2. *Repair of cracked concrete with high molecular weight methacrylate monomers* / D.J. Rodler, D.P. Whitney, D.W. Fowler, D.L. Wheat // *Polymers in Concrete Advantages and Applications*. – Farmington Hills, MI: American Concrete Institute, SP-116, 1989. – P. 113–128.
3. *ACI Committee 224. Control of cracking in concrete structures*, ACI 224R-80. *Concrete International*. – 1980. – Oct. – V. 2. – № 10. – P. 35–76.
4. *Новые комплексные добавки, повышающие трещиностойкость бетона* / И.В. Степанова, В.В. Кондратов, В.П. Овчинникова, В.Я. Соловьева // *Нов. исслед. в материаловед. и экол.* – 2004. – № 2. – С. 19–23.
5. *Митасов, В.М. Конструкции с заранее организованными трещинами* / В.М. Митасов, М.А. Логунова // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. – 2015. – № 1. – С. 115–121.
6. *Митасов, В.М. Железобетонные балки с организованными трещинами под воздействием длительной нагрузки* / В.М. Митасов, М.А. Логунова, М.В. Шатохина // *Изв. вузов. Строительство*. – 2013. – № 10. – С. 5–10.
7. *Трещинообразование в железобетонных конструкциях* / В.М. Митасов, В.В. Адишев, Н.С. Пичкурова, М.А. Логунова // *Железобетонные конструкции: исследования, проектирование, методика преподавания* : сб. докладов Международной научно-методической конференции (4–5 апреля 2012 г., г. Москва). – М. : МГСУ, 2012. – С. 269–276.
8. *Логунова, М.А. Экспериментальные исследования бетонных балок без организованных трещин и с заранее организованными трещинами* / М.А. Логунова, А.С. Пешков // *Изв. вузов. Строительство*. – 2011. – № 1. – С. 116–120.
9. *Митасов, В.М. Конструктивные особенности и расчет железобетонных плит с заранее организованными трещинами* / В.М. Митасов, В.Г. Себешев, М.А. Логунова // *Изв. вузов. Строительство*. – 2012. – № 6. – С. 119–124.
10. *Митасов, В.М. Основные положения теории сопротивления железобетона (энергетический вариант)* / В.М. Митасов. – Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2010. – 168 с.

## REFERENCES

1. *Purvis R., Babei K., Udani N., Qanbari A., Williams W. Premature cracking of concrete bridge decks: causes and methods of prevention. Proc. 4th Int. Conference on Bridge Engineering. Washington, DC, 1995.*
2. *Rodler D.J., Whitney D.P., Fowler D.W., Wheat D.L. Repair of cracked concrete with high molecular weight methacrylate monomers. Polymers in Concrete Advantages and Applications. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute, 1989. No. SP-116. Pp. 113–128.*
3. *ACI Committee 224. Control of cracking in concrete structures, ACI 224R-80. Concrete International. 1980. V. 2. No. 10. Pp. 35–76.*
4. *Stepanova I.V., Kondratov V.V., Ovchinnikova V.P., Solov'eva V.Ja. Novye kompleksnye do-bavki, povyshajushhie treshhinostojkost' betona [New complex additives increasing concrete crack resistance]. Nov. issled. v materialoved. i ekol. 2004. No. 2. Pp. 19–23. (rus)*
5. *Mitasov V.M., Logunova M.A. Konstrukcii s zaranee organizovannymi treshhinami [Structures with preformed cracks]. Vestnik TSUAB. 2015. No. 1. Pp. 115–121. (rus)*
6. *Mitasov V.M., Logunova M.A., Shatokhina M.V. Zhelezobetonnye balki s organizovannymi treshchinami pod vozdеistviem dlitel'noi nagruzki [Reinforced concrete beams with preformed cracks under dynamic load]. News of Higher Educational Institutions. Construction. 2013 No. 9. (rus)*
7. *Mitasov V.M., Adishhev V.V., Pichкурова N.S., Logunova M.A. Treshhinoobrazovanie v zhelezobetonnyh konstrukcijah [Cracking in reinforced concrete structures]. Proc. Int. Sci. Conf. 'Concrete Structures: Research, Design, Teaching'. 2012. Pp. 269–276.*

8. Logunova M.A., Peshkov A.S. Eksperimental'nye issledovaniya betonnykh balok bez organizovannykh treshchin i s zaranee organizovannymi treshchinami [Experimental research of concrete beams with and without cracks]. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2011. No. 1. Pp. 116–120. (rus)
9. Mitasov V.M., Logunova M.A., Sebeshev V.G. Konstruktivnye osobennosti i raschet zhelezobetonykh plit s zaranee organizovannymi treshhinami [Structural analysis of reinforced concrete plates with precracking]. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2012. No. 6. Pp. 119–124. (rus)
10. Mitasov V.M. Osnovnye polozheniya teorii soprotivleniya zhelezobetona (energeticheskii variant) [Fundamentals of reinforced concrete resistance theory (energy version)]. Novosibirsk : NSUACE Publ., 2010. Pp.140–168. (rus)