

УДК 624.012

ДЕФОРМИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК С ФОРМООБРАЗУЮЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ПРИ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗКАХ

Митасов В.М., Чхум А.

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин),
Новосибирск, e-mail: mitassovv@gmail.ru, chhom_amnoth@yahoo.com*

В статье описываются проблемы изучения трещинообразования в железобетонных балках при длительных нагрузках на основе теории сопротивления железобетона (энергетический подход). Представлены экспериментальные исследования несущей способности железобетонных балок в виде пластмассовых пластин (искусственные трещины) и без пластмассовых пластин (искусственных трещин) с различными коэффициентами условий работы бетона γ_{br} . Приводится таблица, включающая схемы нагружения балок, их поперечное сечение, а также различные параметры бетона и арматуры. Представленные исследования позволили оценить жесткость и трещиностойкость в железобетонных балках, изготовленных по вышеупомянутой методике при длительном действии нагрузки. Введение в виде пластмассовых пластин (искусственных трещин) в растянутую зону балок приводит к существенному изменению напряженно-деформированного состояния конструкции и более «мягкому» характеру ее деформирования при трещинообразовании, в результате чего прогибы таких балок под нагрузкой значительно меньше прогибов балок без пластмассовых пластин (искусственных трещин). Трещинообразование железобетонных балок в виде пластмассовых пластин (искусственных трещин) под воздействием длительной нагрузки зависит от коэффициента условий работы бетона γ_{br} , что использование методики в виде пластмассовых пластин (искусственных трещин) может иметь экономический эффект.

Ключевые слова: диаграммно-энергетический подход, трещинообразование, жесткость, длительные нагрузки, железобетонные балки

DEFORMATION OF REINFORCED CONCRETE BEAMS WITH FORMING ELEMENTS UNDER LONG-TERM LOADING

Mitasov V.M., Chkhum A.

*Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, Novosibirsk,
e-mail: mitassovv@gmail.ru, chhom_amnoth@yahoo.com*

This paper deals to problems of studying cracks in reinforced concrete beams under long-term loading by fundamental of reinforced concrete resistance theory (energy approach) was describe. The experimental study of bearing capacity of reinforced concrete beams with the form of plastic plates (artificial cracks) and without form of plastic plates (artificial cracks) with different coefficients of concrete working conditions γ_{br} . Tables were present, including of schematic beams loading, their cross-section, as well as various parameters of concrete and reinforced bar. The presents the research allowed to estimate influence of specified cracks in reinforced concrete beams on their rigidity and strength by the above method under long-term loading. The introduction with the form of plastic plates (artificial cracks) in to tensile zone, the beam was changed stress-strain state of the structure and more soft their character deformation at cracking, as a result of which the deflection of beams under loading are much less than deflections of beams without form of plastic plates (artificial cracks). Cracks of reinforced concrete beams in the form of plastic plates (artificial cracks) under the action of long-term loading depends on the coefficient of working conditions of concrete γ_{br} , that use of the technique in the form of plastic plates (artificial cracks) can have an economic effect.

Keywords: diagram-energy approach, cracks, rigidity, long-term loading, reinforced concrete beams

Железобетонные конструкции в капитальном строительстве занимают ведущее место в общем объеме применяемых конструкций и материалов. В Камбодже в настоящее время существенно возросли объемы строительства жилых, общественных зданий и сооружений из монолитного бетона. Важной задачей является управление процессами трещинообразования бетона с учетом ползучести [1–3]. Деформация ползучести бетона в линейной области существенно зависит от комплекса факторов, которые условно можно разделить на две группы:

– технологического характера, связанные с условиями изготовления и твердения бетона;

– связанные с условиями загрузки бетонного элемента и работы бетона под нагрузкой (размеры сечения бетонного элемента, температурно-влажностные условия окружающей среды, возраст бетона в момент приложения нагрузки).

Балка – это один из основных конструктивных элементов зданий и сооружений, работающий на изгиб. Железобетонные балки подвержены трещинообразованию в растянутой зоне, что требует необходимости

усиления растянутых участков стальной арматурой. Арматура препятствует фрагментации балки и ограничивает величину раскрытия трещин. Процесс образования трещины протекает с очень большой скоростью, так что можно представить его как мгновенный разрыв бетона растянутой зоны, сопровождающийся колебанием балки.

Таким образом, вопрос перехода железобетона из сплошного состояния в состояние с трещиной остается до конца неизученным [4–6].

Актуальность и цели исследований

Образование трещин влияет на жесткость и деформативность конструкций (элементов), поэтому возникает необходимость дальнейшего совершенствования расчетного аппарата для сближения расчетных и фактических значений прогибов и параметров трещинообразования. Основная идея расчета по образованию трещин состояла в том, чтобы определить максимальные напряжения, возникающие в растянутой зоне перед образованием трещин, а также момент сопротивления с учетом неупругих свойств деформирования бетона.

К сожалению, исследование железобетонных конструкций на прочность, жесткость и трещиностойкость при длительном воздействии нагрузки еще мало изучено. На сегодняшний день остается неясным воздействие длительной нагрузки на балки, требует дальнейшего исследования прочность бетона в этих условиях.

Длительное воздействие нагрузки, вызывающей в материале появление микротрещин при начальном загрузении, показывает, что разрушение образца идет медленно в течение продолжительного времени. Опыты с бетоном показывают, что долговременная прочность бетона лежит выше границы R_T^0 , которая определяет прочность под воздействием длительной нагрузки. До сих пор нет единого мнения о величине предела длительной прочности бетона и влияющих на него факторов.

Цель нашей работы – изучить особенности деформирования балок и описать экспериментальные исследования несущей способности железобетонных балок в виде пластмассовых пластин (искусственных трещин) и без них с различными коэффициентами условий работы бетона γ_{bt} .

Особенностью деформирования железобетона под действием нагрузки является качественное изменение состояния при образовании трещин. Методы расчета, основанные на использовании диаграмм деформирования материалов, имеют общие основы для расчета по прочности, дефор-

мациям, образованию и раскрытию трещин и основаны на использовании в расчетных моделях связи между напряжениями и деформациями в бетоне и арматуре.

В процессе эксперимента показано несколько вариантов испытаний железобетонных балок при воздействии длительной нагрузки в зависимости от коэффициента γ_{bt} . Основой разработки проведения модельного эксперимента для сравнительной оценки поведения балок в виде пластмассовых пластин (искусственных трещин) и без них под действием длительной нагрузки будет являться диаграммно-энергетическим подходом для расчета сечений железобетонных элементов. В исследованиях В.М. Митасова и В.В. Адищева отмечено, что состояние после образования трещины описывается следующим образом. После образования трещины в сечении происходит перераспределение усилий. Энергия растянутого бетона передается на арматуру, трещина растет по ширине и высоте, увлекая за собой пересекающую ее арматуру [7, с. 7]. Тогда энергия растянутого бетона определяется по формуле

$$\Delta W_{cr}^{bt} = \int_0^{h_0-x} b(y) \int_0^{\frac{\varepsilon_{bt}}{h-x} \cdot y} \psi(\varepsilon) d\varepsilon dy,$$

где ΔW_{cr}^{bt} – приращение энергии растянутого бетона с трещиной;

$b(y)$ – переменная ширина сечения;

$\psi(\varepsilon)$ – диаграмма деформирования бетона в координатах;

h_o – рабочая высота сечения;

ε_{bt} – относительные деформации растяжения бетона;

x – высота сжатой зоны бетона;

y – расстояние от нейтрального слоя до рассматриваемого волокна.

Кроме того, экспериментальные данные Н.С. Михайловой наглядно показывают наличие участка с резким ростом деформаций в балках сплошного сечения на определенных этапах загрузки. Это говорит о процессе микротрещинообразования в растянутой зоне балки, что, с одной стороны, приводит к увеличению деформаций растянутых волокон и, соответственно, прогиба балок, а с другой стороны – уплотнению бетона в сжатой зоне. В свою очередь, уплотнение сжатой зоны приводит к изменению деформационных свойств сжатых волокон бетона (упрочнение), пусть и незначительного, но достаточного для появления большего сдерживающего усилия в сжатой зоне, чем первоначально, что приводит к остановке дальнейшего роста прогиба [8, с. 19].

Материалы и методы исследования

В процессе нашего эксперимента выполнено:

- разработана методика проведения модельного эксперимента для сравнительной оценки поведения балок с формообразующими элементами (искусственных трещин) и без них под действием длительной нагрузки;

- определены прогибы и деформации изгибаемых элементов, изготовленных с формообразующими элементами (искусственными трещинами) и без них;

- исследованы процессы образования и развития микротрещин в сжатой зоне бетона при длительном действии нагрузки;

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.

Формообразующие элементы (искусственные трещины) образованы установкой пластины толщиной 0,5 мм и высотой 30 мм на арматуру в зоне максимальных моментов.

В возрасте 28 суток балки, предназначенные для исследования влияния длительной нагрузки, устанавливали в устройств, создающие постоянную во времени нагрузки в виде одних сосредоточенных сил. Средние деформации сжатого бетона и растянутой арматуры измеряли в зоне чистого изгиба на базе 260 мм индикаторами часового типа с ценой деления 0,001; прогибы – измеряли прогибомеры Аистова с ценой деления 0,01 мм, установлены в плоскости среднего поперечного сечения балок. Армирование одиночное и защитный слой – 20 мм (рис. 1).

В ходе эксперимента перед бетонированием моделировали в виде пластмассовых пластин (искусственных трещин), установленных в опалубку в середине пролета в зону чистого изгиба. Уплотнение бетонной смеси балок серии 1–3 производили на виброплощадке в несколько этапов.

С помощью рычага железобетонные балки испытывались длительной нагрузкой, как однопролетные шарнирно опертые балки, загруженные с одной сосредоточенными силами. В испытании использовались гири массой 20 кг. На рис. 2 представлена установка испытания железобетонных балок длительной нагрузкой.

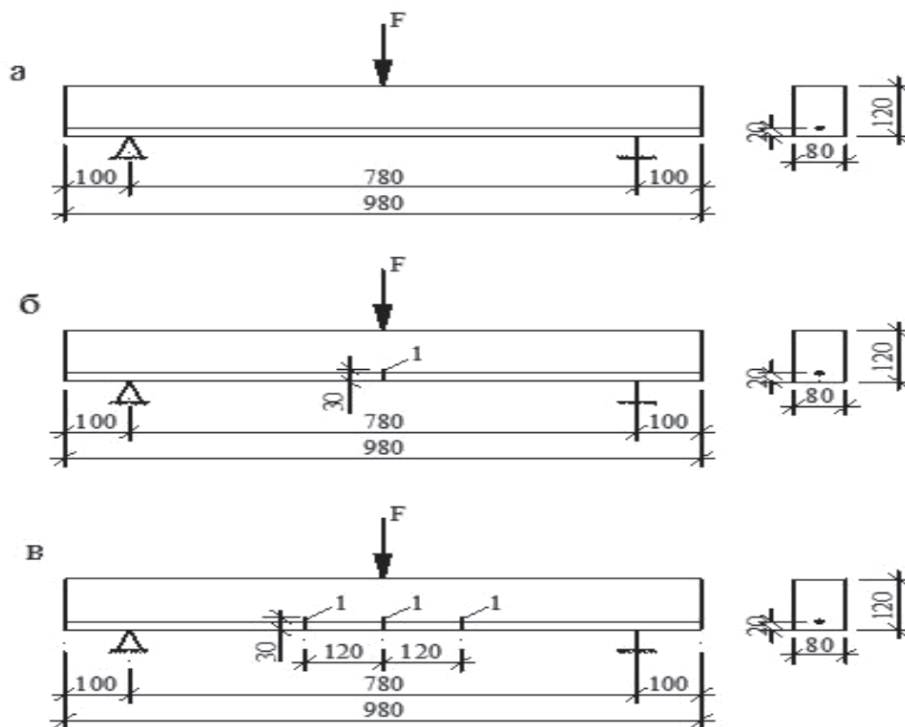


Рис. 1. Схема железобетонной балки: а – без пластмассовых пластин (искусственных трещин); б – с одной пластмассовой пластиной; в – с тремя пластмассовыми пластинами; 1 – пластмассовая пластина (искусственная трещина)

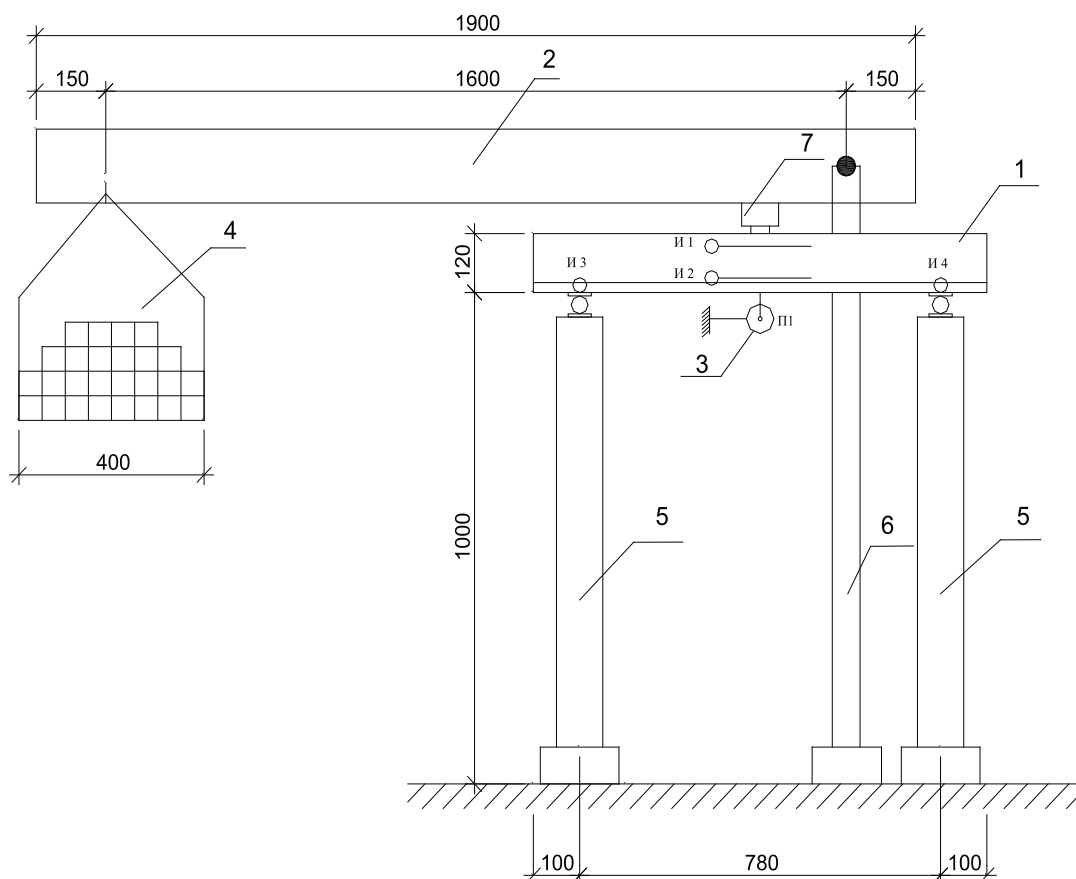


Рис. 2. Установка для испытания балок при длительных нагрузках: 1 – опытная балка; 2 – рычаг из швеллера; 3 – прогибомер; 4 – металлические грузы; 5 – стойки из металлических труб; 6 – стойки из швеллера; 7 – динамометр

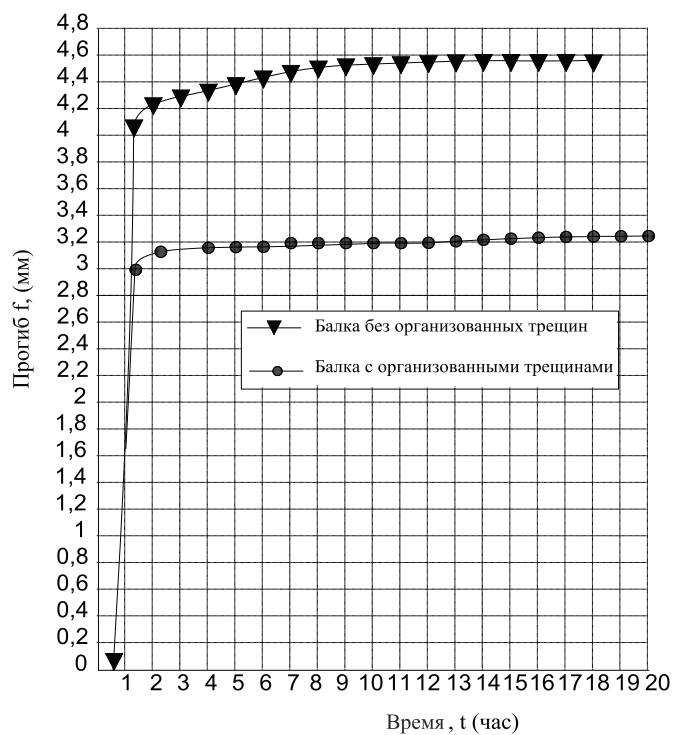
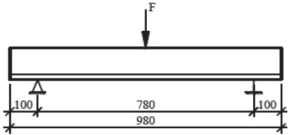
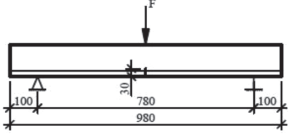
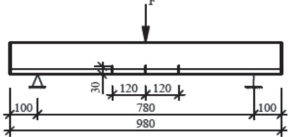
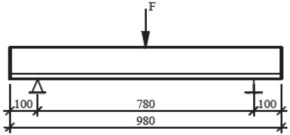
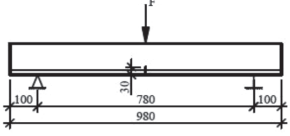
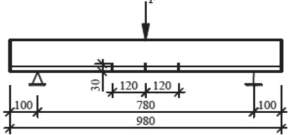
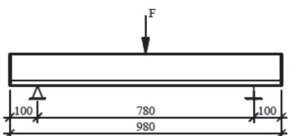
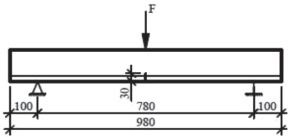
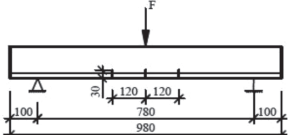


Рис. 3. Прогиб балок при длительной нагрузке [11]

Схема испытания балок

Серия балок	Схема балок	Сечение в пролете	Материалы			Коэффициенты γ_{bi}	Размеры поперечного сечения, мм	
			Арматуры		Бетон		h_0	b
			ds/μ, %	As, см ²	Rb, МПа			
1			$\frac{1\text{Ø}10}{0,98}$	0,785	11,5	0,85	100	80
								
								
2			$\frac{1\text{Ø}10}{0,98}$	0,785	11,5	0,90	100	80
								
								
3			$\frac{1\text{Ø}10}{0,98}$	0,785	11,5	0,95	100	80
								
								

В таблице показана схема испытания балок в виде пластмассовых пластин (искусственных трещин) и без них, их поперечное сечение, а также различные параметры бетона и арматуры.

По испытаниям железобетонных образцов балок построены графики деформаций и прогибов балок в зависимости от момента времени в виде пластмассовых пластин (искусственных трещин) и без

них с коэффициентами условий работы бетона γ_{br} .

Анализ полученных данных исследования показал хорошую согласованность с ранее проведенными исследованиями деформативности железобетонных балок [9, 10].

Выводы

Использование методики с применением формообразующих элементов (искусственные трещины) под воздействием длительной нагрузки позволяет перейти от прогнозирования трещинообразования при нагружении к регулируемому процессу и повышает надежность, долговечность, безаварийную эксплуатацию конструкций при минимальных затратах.

Список литературы

1. ACI 209.2R-08, Guide for Modeling a Calculation of Shrinkage and Creep in Hardened Concrete, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI. – 2008. – 48 p.
2. Bockhold J., Petryna Y. Creep influence on buckling resistance of reinforced concrete shells // *Computer structural*. – 2008. – vol. 86, № 7. – P. 702–713.
3. Wolfgang K. Viscous material behavior of solids – creep of polymer fiber reinforced concrete // *Central European congress of concrete engineering*. – 2009. – vol. 5, № 8. – P. 95–99.
4. Hua Zhu. Crack formation of steel reinforced concrete structure under stress in construction period // *Fracture and integrate structural*. – 2016. – vol. 36, № 25. – P. 191–200.
5. Oh H.K., Park S.M., Hong S.I. Hot Deformation and Cracking during Compression of 21-4N Steel // *Advanced Materials Research*. – 2015. – vol. 1102, № 48. – P. 12–21.
6. Tan K.H., Saha M.K. Long-term deflections of reinforced concrete beams externally bonded with FRP system // *Journal composite construction*. (ASCE). – 2006. – vol.10, № 6. – P. 474–482.
7. Митасов В.М. Основные предпосылки построения энергетической теории сопротивления железобетона / В.М. Митасов, В.В. Адищев // *Изв. вузов. Строительство*. – 2010. – № 5. – С. 3–9.
8. Михайлова Н.С. Особенности деформирования железобетонных балок с организованными трещинами: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. – Новосибирск, 2008. – 24 с.
9. Пичкурова Н.С. Регулирование процессом трещинообразования в железобетонных конструкциях // *Материалы VII Международной научно-практической конференции «Научные перспективы XXI века. Достижения и перспективы нового столетия»* (Новосибирск, 12–13 декабря 2014 г.). – Новосибирск: Международный научный институт «Education», 2014. – С. 57–61.
10. Митасов В.М. Конструкции с заранее организованными трещинами / В.М. Митасов, М.А. Логунова // *Вестник ТГАСУ*. – 2015. – № 1. – С. 115–121.
11. 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.