

УДК 624.072.2 : 012

О ФАКТОРАХ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ИЗМЕНЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ВО ВРЕМЕНИ

Г. С. ЧОБАН, В. Г. БЕССОНОВ

Одесский инженерно-строительный институт

Целью исследований, результаты которых приводятся в настоящей работе, является изучение влияния уровня загрузки и времени выдержки под нагрузкой на величину жесткости сечений. При этом основное внимание было уделено учету работы растянутого бетона на всех этапах трещинообразования.

Испытано три серии балок длиной 2,2 м, высотой сечения 17 см, шириной 9 см, армированных стержнями диаметром 10 мм из стали класса А-II без предварительного напряжения. В зоне действия поперечной силы балки усилены хомутами из стали класса А-I диаметром 6 мм. Верхние монтажные стержни изготовлены из этой же арматуры. Балки первой серии армированы одним стержнем, II и III — соответственно двумя и тремя. Каждая серия состояла из шести балок-близнецов. Все балки изготовлены из бетона на гранитном щебне с наибольшей крупностью 20 мм и морском песке с модулем крупности 2,30, при весовом соотношении цемента марки 400, песка и щебня 1:2,94:5,21 при В/Ц=0,57 для первой серии, 1:2,19:3,91 при В/Ц=0,48 для второй и третьей серий. Твердение бетона происходило в нормальных термовлажностных условиях.

Физико-механические свойства бетона определялись импульсным ультразвуковым методом с помощью приборов УКБ-1 м, а также путем испытания на сжатие контрольных кубов и призм. Прочность бетонных образцов в момент загрузки составляла: для I серии — 20×10^6 Па, II и III — 28×10^6 Па.

К идентичным по всем показателям балкам-близнецам каждой серии были приложены длительно действующие нагрузки, уровни которых соответствовали различным этапам стадии напряженно-деформированного состояния II. Передача усилий и фиксация их на заданном уровне осуществлялись с помощью специальных установок, сконструированных на кафедре строительной механики ОИСИ [1].

Загружались балки на 28-й день после изготовления. В процессе загрузки и при последующей выдержке производились измерения прогибов балок в середине пролета и в точках приложения сосредоточенных усилий индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм, а также краевых деформаций растяжения и сжатия — индикаторами часового типа с ценой деления 0,002 мм, установленных на базе 400 мм. С помощью тензорезисторов, равномерно размещенных по боковым граням в зоне чистого изгиба, изучалось распределение деформаций по высоте сечений и последующее изменение положения нейтральной оси при выдержке балок под нагрузкой.

Расположение, конфигурация и глубина проникания трещин в направлении нейтральной оси устанавливались путем обработки боковых поверхностей балок специальными жидкими реактивами [2]. После такой обработки становились видимыми все элементы микрорельефа бетонной поверхности, неразличимые до этого. Ширина трещин определялась с помощью микроскопа МПБ-2. Одновременно находились деформации усадки бетона на бетонных призмах и балках, начиная с седьмого дня после изготовления.

В процессе выдержки балок под нагрузкой вычислялась жесткость сечений при всех уровнях загрузки. Это делалось двумя способами: по числовым значениям прогибов и по измеренным величинам средних относительных деформаций сжатой и растянутой граней балок [3].

При анализе результатов испытаний параболическая эпюра растягивающих напряжений с некоторым допущением была заменена трапециевидной. Размер абсциссы прямоугольной части эпюры с постоянными напряжениями характеризует протяженность зоны неупругих деформаций $\rho_{тр} h$. На наличие подобных локальных деформаций указывают авторы, исследующие процессы разрушения твердых тел [4].

Предполагается, что напряжение в области вершины трещины существенно не меняется на протяжении всей стадии напряженно-деформированного состояния II и соответствует $\sigma_{тр}$ — опытному значению предела прочности бетона при появлении трещин на растянутой грани балки. Глубина проникания трещины, изменяющаяся с ростом нагрузки и при выдержке, обозначена через ξh . Усилия в различных частях сечения с учетом характеристик $\rho_{тр} h$ и ξh , выраженные через $\sigma_{тр}$ и высоту сжатой зоны x , характеризуются эпюрами, приведенными в [5].

Внутренние усилия, выраженные в такой форме, были использованы для построения с учетом геометрических соотношений эпюры напряжений, формулы жесткости сечений изгибаемых элементов в стадии напряженно-деформированного состояния II. Соответствующая формула в виде функции

$$B = F(\xi, \rho) \quad (1)$$

в развернутом виде и с расшифровкой входящих в нее символов дана в [5].

Величина жесткости сечения B и глубина проникания трещин ξh определялись в ходе эксперимента, а протяженность зоны неупругих деформаций $\rho_{тр} h$ вычислялась расчетным путем с помощью развернутой формулы (1).

Найденные таким образом значения $\rho_{тр}$ даны в таблице, из которой видно, что величина $\rho_{тр}$ близка к постоянной и поэтому может рассматриваться как характеристика материала.

Зоны неупругих деформаций возникают и развиваются до максимальных значений $\rho_{тр} h$ в стадии напряженно-деформированного состояния I—Ia; расположение зон концентрации этих деформаций соответствует местам образования будущих трещин.

Отмечено, что при кратковременном нагружении первоначальный разрыв бетона происходит на глубину, соответствующую максимальным значениям $\rho_{тр} h$. Области неупругих деформаций при этом смещаются на продолжение трещин в сторону нейтральной оси, не изменяясь существенно в размерах. После первоначального разрыва бетон между вершинами трещин и нейтральной осью сохраняет несущую способность, близкую к той, что наблюдалась в момент трещинообразова-

Таблица

Относительные значения размеров зон неупругих деформаций опытных образцов в момент трещинообразования

№ пп.	Размеры, см		R Па × 10 ³	E Па × 10 ³	Кэф- фици- ент ар- миро- вания	ρ _{тр}	Источник
	δ	h					
1	18,0	25,0	238	—	0,91	0,32	Н. М. Мулин В. П. Артемьев И. К. Белобров и др.
2	18,0	25,0	463	—	0,8	0,34	
3	18,0	25,0	157	—	0,91	0,34	
4	12,7	25,4	146	—	0,895	0,34	Е. Хогнестэд
5	12,7	25,4	145	—	0,513	0,33	
6	9,2	13,0	240	318	0,745	0,37	На основании исследо- ваний авторов
7	9,3	13,2	228	308	1,59	0,38	
8	9,1	13,8	210	296	2,02	0,35	
9	9,0	18,3	214	298	0,528	0,35	
10	9,4	18,4	233	311	0,973	0,35	
11	9,0	17,0	234	311	1,675	0,35	
12	9,1	21,4	206	294	0,43	0,35	
13	9,1	22,2	204	296	0,832	0,35	
14	9,0	21,0	202	289	1,36	0,36	
15	8,8	16,8	195	286	0,58	0,36	
16	9,0	17,1	276	329	1,10	0,35	
17	8,7	17,0	274	328	1,68	0,36	
18	16,0	25,0	140	230	1,14	0,29	
19	16,0	25,0	200	290	1,08	0,31	
20	16,0	25,0	300	340	2,18	0,32	

ния. С повышением уровня загрузки происходит дальнейшее разви-
тие трещин; области неупругих деформаций перемещаются вместе с
вершинами трещин и постоянно сокращаются в размерах.

Экспериментами установлена также закономерность изменения
величины коэффициента $\frac{1}{\psi_a}$, нормируемого действующими строи-
тельными нормами и правилами. В форму жесткости он входит как отно-
шение $\frac{1}{\psi_a}$, поэтому на рис. 1 эта величина представлена в форме со-
ответствующей функции. (Значения $M_{тр}$ и $B_{тр}$ соответствуют изгибаю-
щему моменту и жесткости в стадии напряженно-деформированного
состояния I—Ia. Представленные в такой форме результаты для бал-
ки II серии качественно идентичны для всех испытанных образцов).
После первоначального разрыва бетона, когда несущая способность
бетона с трещиной близка к величине, что наблюдалось в момент,
предшествующий появлению первых трещин, существенной разницы
между средними деформациями растянутой арматуры и деформация-
ми ее в сечениях с трещинами не имелось — отношение $\frac{1}{\psi_a}$ незна-
чительно превышает единицу.

Отношение $\frac{1}{\psi_a}$ заметно возрастает с повышением уровня загруз-
жения, сопровождающимся сокращением величины $\rho_{тр}$. К моменту, ког-
да несущая способность сечения, определяемая работой растянутого
бетона, и $\rho_{тр}$ приближается к нулю, $\frac{1}{\psi_a}$ вновь снижается до единицы.
Эти результаты согласуются с выводами других авторов [6].

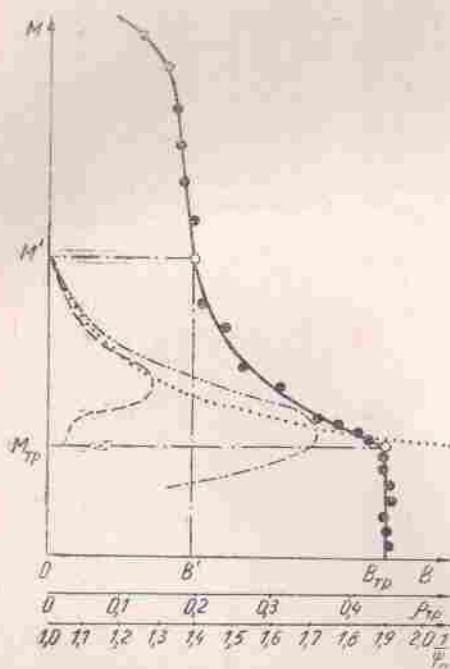


Рис. 1. Совмещенные графики функций $B=f_1(M)$:

— $\rho_{гр} = f_2(M)$;

— $\frac{1}{\psi_a} = f_3(M)$ — экспериментальный;

..... $\frac{1}{\psi_a} = f_3(M)$ — теоретический

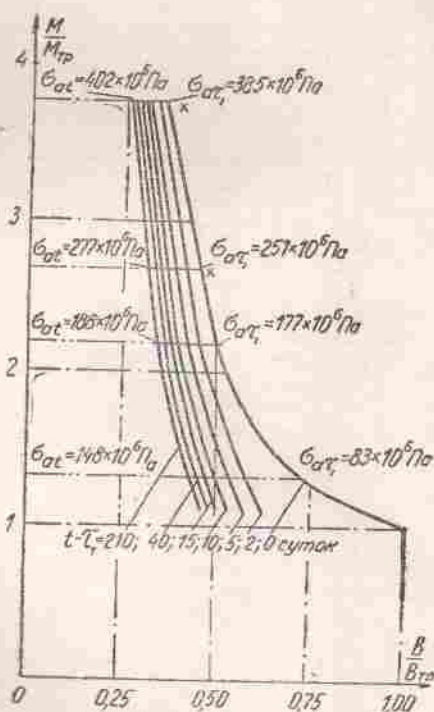


Рис. 2. Графики функций $B=f(M)$, построенные по экспериментальным данным, полученным в разные сроки наблюдения (абсциссы точек, отмеченных крестиками, определяют величину жесткости сечения при кратковременном нагружении, найденную по действующим нормам)

Сопоставление экспериментальных и расчетных величин отношения $\frac{1}{\psi_a}$, вычисленных с учетом действующих норм, свидетельствует о превышении последних, особенно заметном в начальной стадии трещинообразования, что обусловлено в первую очередь тем, что нормами непосредственно работа растянутого бетона над трещинами не учитывается.

При длительном нагружении величина $\rho_{гр}$ зависит не только от уровня нагружения, но и от времени выдержки под нагрузкой. С течением времени зоны неупругих деформаций сокращаются в размерах — этот процесс протекает тем интенсивнее, чем выше уровень нагружения. Так, было установлено, что при длительном действии нагрузки с уменьшением $\rho_{гр}$ возрастает высота сжатой зоны (отношение $\frac{x}{h_0}$).

Одновременно с этим наблюдался некоторый рост напряжений в арматуре. Это перераспределение усилий обусловило снижение жесткости сечений.

Как показали исследования, к моменту нагружения деформации

усадки достигли величины $\varepsilon_y = (16 \div 18) 10^{-5}$, а максимальные значения $\varepsilon_y = (23 \div 24) 10^{-5}$ были достигнуты на 90 ÷ 120 день. Поскольку эти деформации имели место в основном до загрузки балки, то влияние их на величину жесткости сечений было менее значительно по сравнению с вышеописанными факторами. Эти выводы, подтвержденные экспериментально, соответствуют в качественном и количественном отношении данным, приведенным авторами, выполнявшими аналогичные исследования [1, 6, 7].

На рис. 2 показаны результаты длительных испытаний балок II серии и выполненных поверочных расчетов. Вдоль оси абсцисс отложены значения величин жесткости, вычисленные при фиксированном уровне загрузки для каждой из балок II серии в различные сроки наблюдения. Точки, соответствующие одному сроку наблюдения, но разным уровням загрузки, соединены сплошными линиями. Эти точки относятся к разным балкам, но поскольку образцы одной серии идентичны, полученные политропные кривые вполне отражают закон изменения во времени зависимости $M-B$ для одной балки.

Приведенные на рис. 2 значения величин напряжений в арматуре, определенные для каждого уровня нагрузки в день загрузки и через 210 суток выдержки, служат иллюстрацией процесса перераспределения внутренних усилий, о котором сказано выше.

Поверочные расчеты показали, что между экспериментальными и расчетными величинами жесткости, определенными согласно действующим нормам с учетом кратковременного действия нагрузки (на рис. 2 отмечены крестиками), имеет место заметное расхождение при нагрузках, превышающих $M_{тр}$ более чем в два раза.

Неупругие деформации бетона не сказываются сколько-нибудь заметно на несущей способности железобетонных элементов, но они существенным образом влияют на форму соотношения $M-B$.

Изучение характера изменения работы растянутого бетона над трещинами предопределяет возможность совершенствования методов расчета статически неопределимых конструкций из железобетона на основе учета формы соотношения между величинами нагрузок и деформаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прокопович И. Е., Темнов И. И. Экспериментальное исследование деформаций железобетонных балок. Сб. «Строительные конструкции», вып. 13, Киев, «Будивельник», 1969.
2. Бессонов В. Г. Метод обнаружения и фиксации трещин в железобетоне. Информ. листок № 200—74 Одесского межотраслевого территориального центра научно-технической информации и пропаганды УкрНИИНТИ Госплана УССР, Одесса, 1974.
3. Бессонов В. Г. Влияние начальной кривизны продольных стержней арматурных сеток на физико-механические свойства армоцемента. Изв. АН БССР, сер. физико-механич. наук (на белорусском языке), Минск, 1963, № 1.
4. Сб. «Разрушение» (под ред. Г. Либовица), т. 1, М., «Мир», 1973.
5. Бессонов В. Г., Чобан Г. С. Форма аналитической зависимости $B=F(M)$ для кратковременно загруженных железобетонных изгибаемых элементов без предварительного напряжения с учетом трещинообразования. Реф. информ. о законченных научно-исслед. работах в вузах УССР, раздел «Строительная механика и расчет сооружений», вып. 5, Киев, 1974.

6. Немировский Я. М., Кочетков О. И. Влияние работы растянутой и сжатой зон бетона на деформации обычных изгибаемых железобетонных элементов после возникновения в них трещин, НИИЖБ, сб. «Особенности деформаций бетона и железобетона и использование ЭВМ для оценки их влияния на поведение конструкций» (под ред. А. А. Гвоздева и С. М. Крылова). М., Стройиздат, 1969.
7. Улицкий И. И., Метелюк Н. С., Реминец Г. М. Жесткость железобетонных изгибаемых элементов, НИИСК АСИА УССР, Киев, Госстройиздат, 1963.
8. Немировский Я. М., Фигаровский В. В., Лемыш Л. Л. К расчету деформаций по проекту новых форм, «Бетон и железобетон», 1971, № 5.