

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ПРИ ВЫСОКИХ ДЛИТЕЛЬНО ДЕЙСТВУЮЩИХ НАГРУЗКАХ

В Одесском инженерно-строительном институте были проведены опыты по исследованию работы железобетонных балок при высоких длительно действующих нагрузках. Цель опытов: изучить поведение железобетонных балок с обычной арматурой при длительном действии нагрузок, вызывающих в сжатой зоне бетона напряжения, превышающие половину разрушающих; исследовать возможность описания напряженно-деформированного состояния балок на основе нелинейной теории ползучести [2, 3]. Ниже приводятся некоторые предварительные результаты этих опытов и необходимые данные о них (таблица).

Бетон для образцов приготавливали в лабораторных условиях на портландцементе марки 500 при $B/C=0,7$; состав бетона 1 : 2,9 : 5,19 (по весу); кубиковая прочность на 28-е сутки — 204 кГ/см²; прочность призм размером 8×8×30 см 128 кГ/см²; размер всех балок 8×16×270 см; расчетный пролет 250 см; арматура периодического профиля марки А-III диаметром 10 и 14 см.

В возрасте 28 суток балки, предназначенные для исследования влияния длительной нагрузки (серия БН), устанавливали в устройства, создающие постоянную во времени нагрузку в виде двух сосредоточенных сил на расстоянии 35 см от среднего поперечного сечения. Средние деформации сжатого бетона и растянутой арматуры замеряли в зоне чистого изгиба на базе 400 мм индикатором часового типа с ценой деления 0,01, прогибы — такими же индикаторами, установленными в плоскости среднего поперечного сечения балок.

Балки, предназначенные для изучения деформаций усадки и деформаций от собственного веса (серий Б-V

**Сравнение прогибов железобетонных балок с одиночной арматурой, вычисленных теоретически,
со средними прогибами балок, определенными экспериментально**

Серия и номер образца	$\frac{M}{M_p}$	μ в %	F_a в см^2	Метод определения прогибов	Кратковременный прогиб в см	Прогиб балок в см в возрасте бетона к моменту наблюдения в сутках							
						30	32	40	60	90	150	300	500
БН _н -2,4	0,935			Теоретический	1,31	1,5	1,65	2,09	2,48	2,68	2,82	3,06	3,2
				Опытный	1,39	1,58	1,67	2	—	—	—	—	—
				% отклонений	—5,7	—5	—1,2	4,5					
БН _н -10-2Р	0,79		0,028	Теоретический	1,06	1,19	1,3	1,63	1,94	2,05	2,16	2,34	2,42
				Опытный	1,05	1,19	1,23	1,60	1,89	1,98	—	—	—
				% отклонений	1	0	5,7	1,87	2,6	3,5			
БН _н -18-2Р	0,7		3,08	Теоретический	1,07	1,21	1,32	1,65	1,96	2,07	2,19	2,37	2,43
				Опытный	1,02	1,19	1,25	1,51	1,83	1,91	2,03	2,18	2,21
				% отклонений	4,9	1,7	5,6	4	7,1	8,4	7,9	8,7	9,5
БН _н -26,28	0,603			Теоретический	0,79	0,92	1	1,23	1,43	1,54	1,61	1,73	1,75
				Опытный	0,76	0,9	1	1,21	1,35	1,41	1,58	1,69	1,7
				% отклонений	4	2,2	0	1,65	5,9	7,1	1,9	2,4	2,9

Серия и номер образца	$\frac{M}{M_p}$	μ в %	F_a в см^2	Метод определения прогибов	Кратковременный прогиб в см	Прогиб балок в см в возрасте бетона к моменту наблюдения в сутках							
						30	32	40	60	90	150	300	500
БН _н -6,8	0,972	0,014	1,57	Теоретический	1,35	1,51	1,61	1,89	2,16	2,26	2,35	2,5	2,59
				Опытный	1,34	1,57	1,59	1,73	2,09	—	—	—	—
				% отклонений	7,5	—3,8	1,25	9,3	3,4				
БН _н -14,16	0,876	0,014	1,57	Теоретический	1,21	1,35	1,44	1,68	1,91	2	2,08	2,21	2,29
				Опытный	1,38	1,42	1,52	1,63	1,88	1,93	1,97	2,1	2,15
				% отклонений	—12,3	—4,9	—5,2	3	1,56	3,6	5,5	4,8	6,7
БН-22,24	0,642	0,014	1,57	Теоретический	0,87	0,94	0,99	1,15	1,3	1,35	1,4	1,48	1,54
				Опытный	0,76	0,97	1	1,11	1,18	1,24	1,36	1,51	1,51
				% отклонений	11,8	—3,1	—1	3,6	10,2	8,9	3	—2	2
БН-30,32	0,51	0,014	1,57	Теоретический	0,68	0,73	0,76	0,88	0,99	1,03	1,06	1,12	1,17
				Опытный	0,59	0,67	0,7	0,82	0,87	0,9	0,95	1,05	1,08
				% отклонений	15	9	8,6	7,3	13,8	14,5	6,3	6,7	8,3

П р и м е ч а н и я: 1. Опытные величины прогибов определены как разность между прогибами загруженных балок и прогибами от усадки незагруженных балок.
 2. Возраст бетона к моменту загружения балок 28 суток.

и Б-II), загружали кратковременной нагрузкой, вызывающей изгибающий момент, равный 0,6 разрушающего. После образования и развития трещин нагрузку снимали и балки укладывали на специальные стеллажи. Деформации и прогибы этих балок замеряли так же, как и загруженных.

Необходимые для расчета балок [3] мера ползучести $C(t, \tau)$ и коэффициенты β_0 и β , входящие в функцию [5] $F(\sigma) = \beta_0\sigma + \beta\sigma^2$, определяли на основе данных о ползучести бетонных призм, загружавшихся в возрасте 28, 60 и 90 суток при нагрузках 0,5; 0,65; 0,8 и 0,9 разрушающей. Величины этих коэффициентов при напряжениях, выраженных в kG/cm^2 , оказались равными $\beta_0=0,625$ и $\beta=0,0065$. Опытные кривые ползучести при $\sigma=0,5 R_{\text{пр}}$ (рис. 1) аппроксимированы кривыми, построенными по формуле С. В. Александровского [1].

Наблюдения за поведением балок при различных уровнях нагрузок на протяжении 500 суток выявили ряд закономерностей. Деформации сжатой зоны бетона и арматуры существенно увеличиваются во времени (деформации бетона возросли в среднем в 2,7 и 3 раза; деформации арматуры составили 1,15—1,18 деформаций при кратковременном действии нагрузки).

Скорость развития деформаций уменьшается во времени. Хотя развитие деформаций арматуры приводит к увеличению напряжений, ни в одной из испытанных балок напряжения в арматуре не достигли предела текучести.

Прогибы балок увеличивались на всем протяжении опыта. В балках при $M/M_p=0,51$ после пребывания под нагрузкой в течение 170 суток нарастание прогибов имело явную тенденцию к стабилизации, в балках при $M/M_p=0,876$ эта тенденция была выражена значительно слабее (рис. 2).

Уровень нагрузки существенно сказывался на образовании трещин при кратковременном и длительном ее действии. Как видно из рис. 3, в одной из балок в процессе загружения было замечено 10 трещин. В дальнейшем образовалось еще 8, причем все они были расположены вне зоны ранее появившихся. В другой балке при нагружении было зафиксировано 14 трещин, а в дальнейшем— еще 13. При этом 4 из них появились между ранее зафиксированными, а 9—вне зоны расположения трещин, появившихся во время загружения.

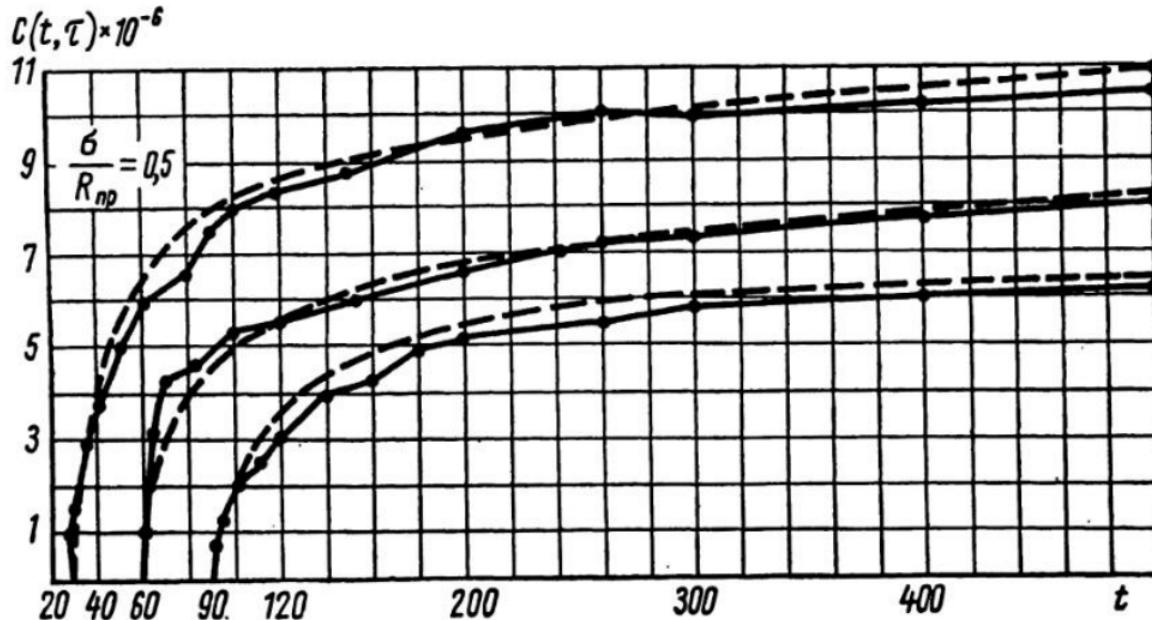


Рис. 1. Усредненные экспериментальные кривые ползучести призм при $\sigma = 0,5 R_{\text{пр}}$. Сплошные линии — опытные данные; пунктирные — теоретические

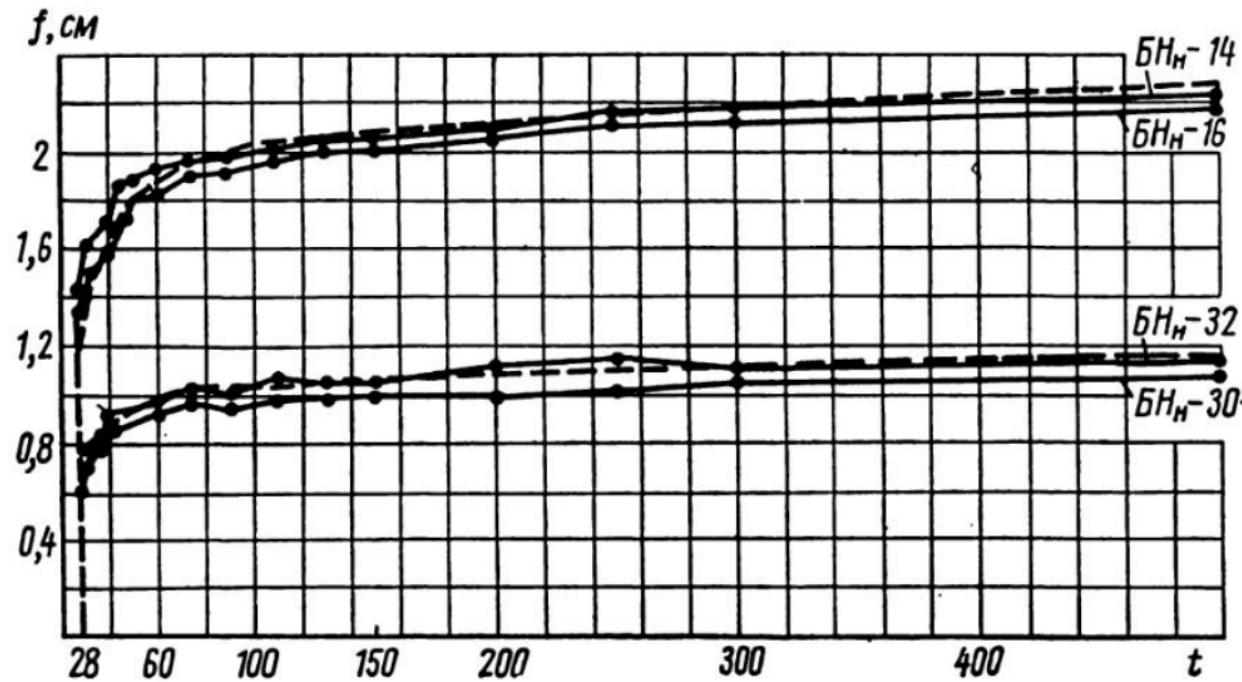


Рис. 2. График экспериментальных и теоретических прогибов балок. Сплошные линии — опытные данные; пунктирные — теоретические

Для проверки возможности описания напряженно-деформированного состояния балок при высоких нагрузках на основе нелинейной теории ползучести [3] рассчитывали изменения прогибов во времени. Как видно из таблицы, отклонение вычисленных прогибов от экспери-

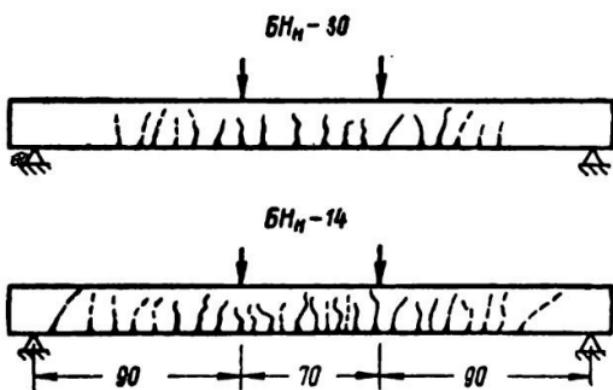


Рис. 3. Картина трещин, появившихся в балках при кратковременном (сплошные линии) и длительном (пунктирные) действии нагрузок

ментальных при $t=500$ суток не превышает 10%. Это дает право считать, что методика, предложенная в работе [3], позволяет достаточно надежно описать нарастание прогибов в железобетонных балках при длительном действии высоких нагрузок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александровский С. В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на температурные и влажностные воздействия (с учетом ползучести). Стройиздат, 1966.
2. Арутюнян Н. Х. Некоторые вопросы теории ползучести. Госстройиздат, 1952.
3. Оплачко В. М. Изгиб железобетонной балки с обычной арматурой при длительном действии нагрузки и нелинейной зависимости между напряжениями и деформациями бетона. «Известия высших учебных заведений», 1968, № 4.
4. Прокопович И. Е. Влияние длительных процессов на напряженное и деформированное состояние сооружений. Госстройиздат, 1963.
5. Улицкий И. И. Влияние нелинейной ползучести бетона на напряжено-деформированное состояние изгибающихся и внецентренно сжатых железобетонных элементов. Стройиздат, 1964.