

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ  
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК, РАБОТАЮЩИХ С ДВУЗНАЧНОЙ ЭПЮРОЙ  
ИЗГИБАЮЩИХ МОМЕНТОВ, ДЕЙСТВИИ ИЗГИБА С ПОПЕРЕЧНОЙ СИЛОЙ

В.И.Гашко, О.А.Рочняк

В теории железобетона к числу малоисследованных относятся вопросы сопротивления статически неопределимых балочных элементов действию поперечных сил. Задачей настоящих экспериментальных исследований явилось изучение механизма и получение количественных характеристик сопротивления таких балок при изгибе с поперечной силой. Опыты проведены на железобетонных двухпролетных балках прямоугольного поперечного сечения. Конструктивное решение образцов показано на рис. 1 и отражено в таблице 1, там же приведен общий объем экспериментов. Варьируемыми факторами являлись относительный "пролет среза"  $a/h_0$  (следовательно, изменялось отношение опорного момента к пролетному  $M_{sup}/M_{mid}$ ) и величина предварительного натяжения верхней и нижней продольной арматуры. В таблице 2 изложены основные характеристики испытаний.

Для армирования опытных образцов применялись арматурные стержни класса А-У  $\phi$  11 мм ГОСТ 5781-82, устанавливаемые с предварительным натяжением, и стержни класса А-П  $\phi$  12 мм ГОСТ 5781-82; поперечная арматура В-1  $\phi$  5 мм ГОСТ 6727-80. Физико-механические показатели арматуры определялись по [1].

Для приготовления бетонной смеси использовались цемент марки 400 Волковысского цементного завода; песок с модулем крупности 1,8 и объемной массой 1640 кг/м<sup>3</sup>; щебень Микашевичского карьера с крупностью зерен 5 + 20 мм, пустотностью 11,8%.

Бетон соответствовал классу В25 - В30.

Опытные балки изготавливались в металлической форме. Одновременно из той же смеси бетонировались 6-8 кубов с ребром 15 см и три призма с соотношением  $b:h = 1:1$ . Физико-механические характеристики бетона определялись по [2-4].

Натяжение арматуры на упоры осуществлялось с помощью гидравлических домкратов. Величина напряжения регулировалась комплектами шайб, укладываемых между упором и полуавтоматическим захжимом. Контроль равномерности усилий в арматурных стержнях осуществлял-

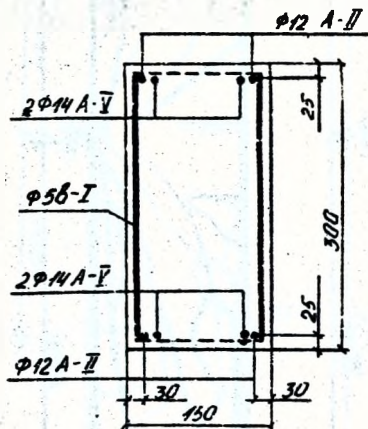
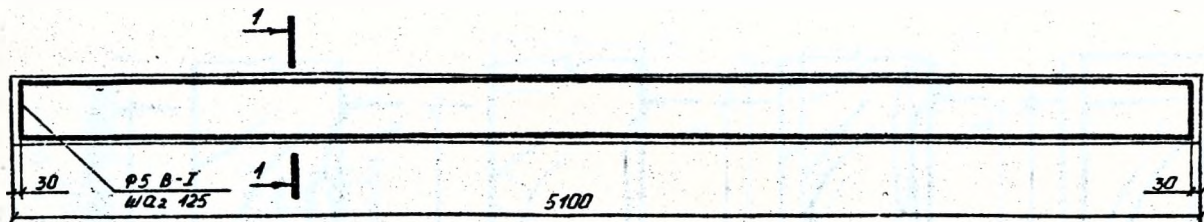


Рис. I Конструктивное решение  
опытных балок

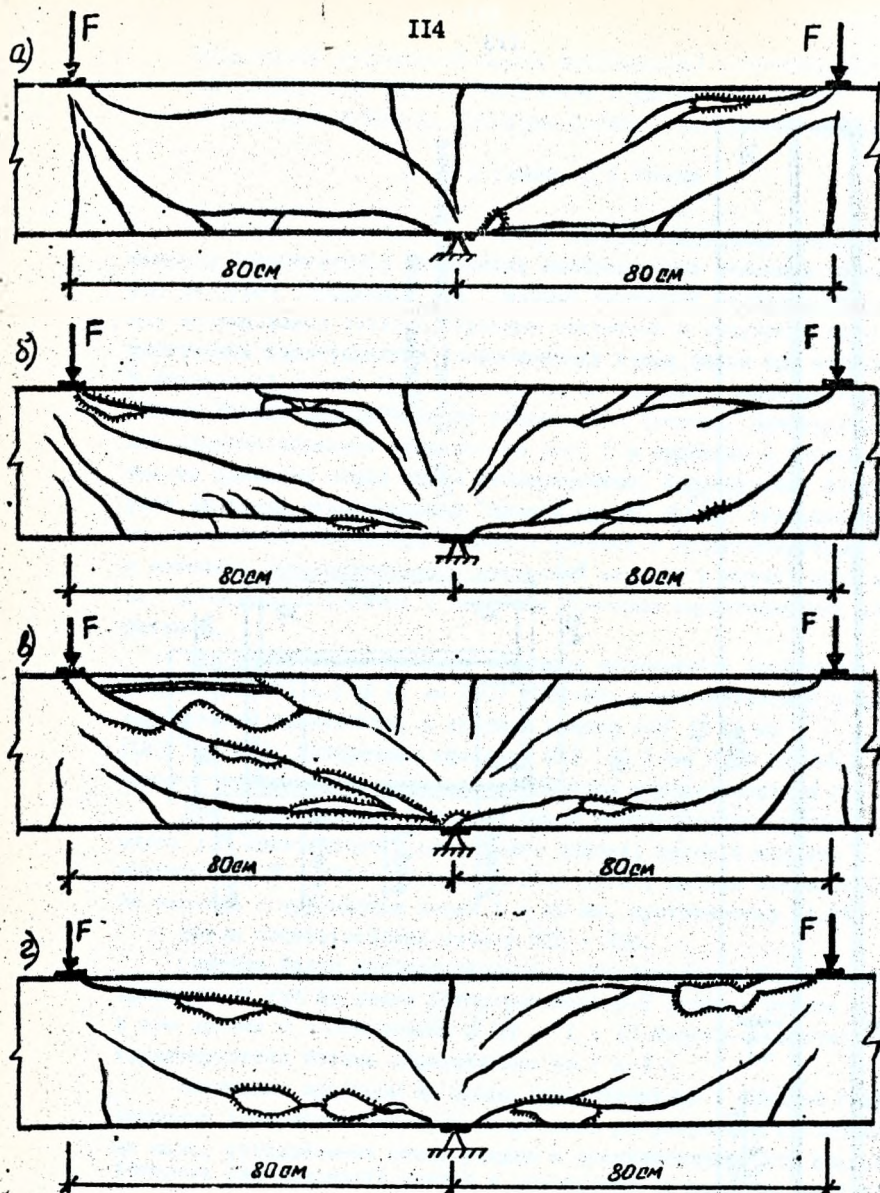


Рис. 2 Морфология трещинообразования и характер разрушения опытных балок: а) БИ-П-1А ( $a/h_0 = 3; \delta_{sp}/\delta_{a2} = 0; \delta'_{sp}/\delta_{a2} = 0$ ); б) БИ-П-2 ( $a/h_0 = 3; \delta_{sp}/\delta_{a2} = 0,53; \delta'_{sp}/\delta_{a2} = 0,53$ ); в) БИ-П-3А ( $a/h_0 = 3; \delta_{sp}/\delta_{a2} = 1,0; \delta'_{sp}/\delta_{a2} = 1,06$ ); г) БИ-П-1А ( $a/h_0 = 3, 0; \delta_{sp}/\delta_{a2} = 0,96; \delta'_{sp}/\delta_{a2} = 0,55$ ).



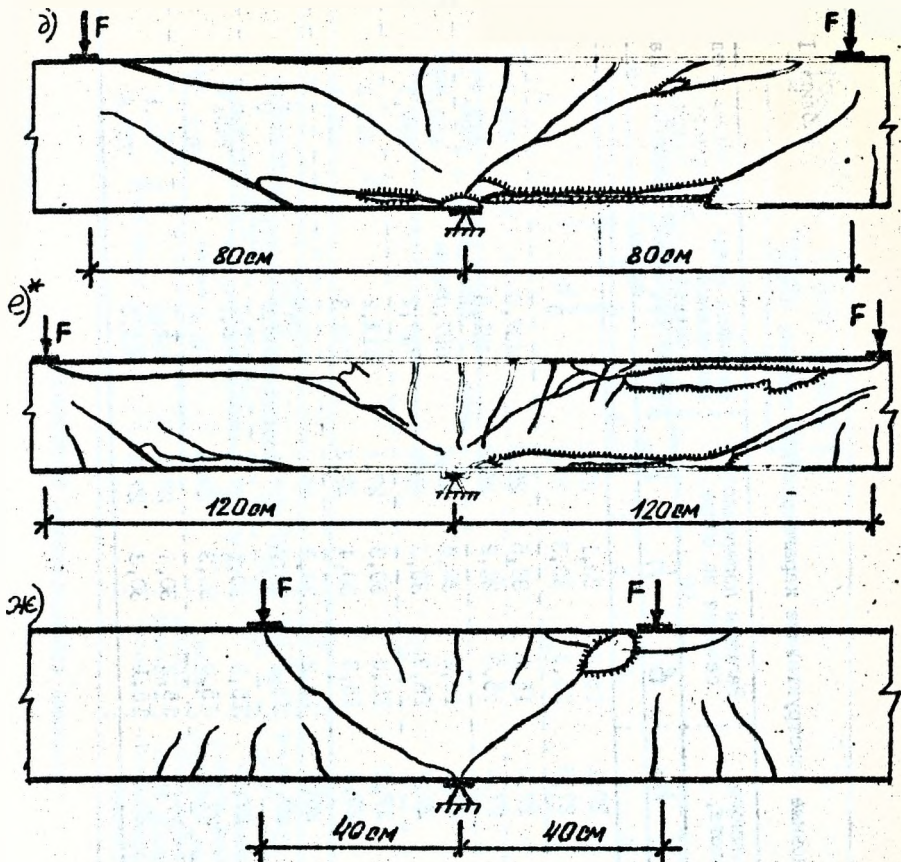


Рис. 2 (продолжение) Морфология трещинообразования и характер разрушения опытных балок: д) БН-II-5А ( $a/h_0 = 1,5$ ;  $\delta_{сп}/\delta_{вз} = 0,97$ ;  $\delta'_{сп}/\delta_{вз} = 0$ ) е) БН-III-3А ( $a/h_0 = 4,5$ ;  $\delta_{сп}/\delta_{вз} = 0,94$ ,  $\delta'_{сп}/\delta_{вз} = 0,94$ ); ж) БН-I-3 ( $a/h_0 = 1,5$ ;  $\delta_{сп}/\delta_{вз} = 0,94$ ;  $\delta'_{сп}/\delta_{вз} = 0,9$ )

\* Масштаб рисунка балки БН-III-3А отличен от масштаба рисунков остальных балок.

Таблица I

## Основные конструктивные характеристики опытных балок

№ балки	Размеры поперечного сечения в пролете, см			Размеры поперечного сечения на опоре, см			Величина пред-напряжения нижней арматуры, МПа	Величина пред-напряжения верхней арматуры, МПа
	$b$	$h$	$h_0$	$b$	$h$	$h_0$		
	2	3	4	5	6	7		
БН-I-I	15,2	30,2	27,1	15,3	30,1	27,0	0	0
БН-II-Ia	15,3	30,5	27,3	15,3	30,3	27,1	0	0
БН-II-2	15,4	30,6	27,2	15,2	30,5	26,9	437,0	399,0
БН-II-2a	15,2	30,1	27,0	15,3	30,2	26,8	421,8	429,4
БН-II-3	15,1	30,8	27,2	15,2	30,6	27,1	807,0	859,8
БН-II-3a	15,4	30,2	26,9	15,3	30,3	26,9	737,2	689,7
БН-II-4	15,1	30,5	27,2	15,0	30,3	27,1	613,2	418,0
БН-II-4a	15,3	30,6	27,3	15,3	30,4	27,3	773,3	446,5
БН-II-5	15,1	30,4	26,9	15,2	30,3	27,0	637,5	0
БН-II-5a	15,0	30,3	27,0	15,1	30,2	27,1	763,8	0
БН-I-3	15,3	30,4	27,3	15,2	30,1	27,2	768,1	745,4
БН-I-3a	15,1	30,2	27,1	15,0	30,3	27,4	742,2	725
БН-III-3	15,1	30,3	27,1	15,2	30,4	27,1	750,5	710,6
БН-III-3a	15,0	30,2	27,0	15,1	30,3	27,3	763,3	757,8

## Основные характеристики испытаний


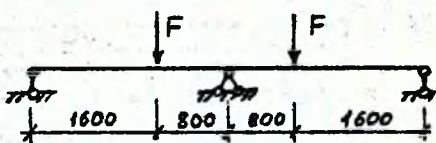
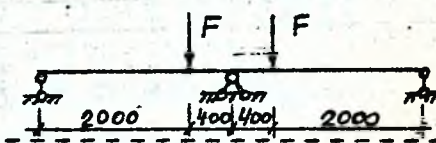
Шифр балки	Уровень относительного предельного напряжения верхней арматуры,	Уровень относительного предельного напряжения нижней арматуры,	Относительный "пролет среза"	Эп. М Эп. Q	<p>Схема испытаний</p> 
	$\sigma_{сп} / \sigma_{0.2}$	$\sigma_{сп} / \sigma_{0.2}$			
I	2	3	4	5	
БН-II-1	0	0			
БН-II-2	0,55	0,55			
БН-II-3	1,0	1,0	3,0		
БН-II-4	0,55	1,0			
БН-II-5	0	1,0			
-----					
БН-I-3	1,0	1,0	1,5		
-----					
БН-III-3	1,0	1,0	4,5		
-----					



Таблица 3

Усилия при образовании трещин и исчерпании несущей способности опытных балок

№№ балки	Отно- ситель- ный про- лет среза" $a/h_0$	Уровень относи- тельно- го пред- напряже- ния ниж- ней ар- матуры $\sigma_{sp}/\sigma_{s2}$	Уровень относи- тельно- го пред- напряже- ния верх- ней ар- матуры $\sigma_{sp}/\sigma_{s2}$	Усилия при об- разовании нор- мальных трещин на верхней грани			Усилия при об- разовании нор- мальных трещин на нижней гра- ни			Усилия при об- разовании на- клонных тре- щин			Усилия при ис- черпании несущ- ей способнос- ти балки		
				$M_{sup}$ кМ	$M_{sp}$ кМ	$Q$ кН	$M_{sup}$ кМ	$M_{sp}$ кМ	$Q$ кН	$M_{sup}$ кМ	$M_{sp}$ кМ	$Q$ кН	$M_{sup}$ кМ	$M_{sp}$ кМ	$Q$ кН
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Бн-I-1	3	0	0	17,4	9,5	33,7	26,0	14,2	50,3	21,9	12,0	42,5	65,8	38,0	127,5
Бн-II-1а	3	0	0	17,5	9,6	33,9	26,2	14,4	50,8	26,3	14,4	51,0	57,1	31,2	110,5
Бн-II-2	3	0,52	0,53	26,3	14,4	51,0	34,7	19,0	67,3	41,2	24,2	85,0	71,6	40,8	144,5
Бн-II-2а	3	0,54	0,49	34,5	18,9	66,8	46,6	25,5	90,3	60,0	33,1	117,3	81,2	44,4	157,3
Бн-II-3	3	1,00	1,06	44,3	24,3	85,9	61,2	33,5	115,5	65,7	35,4	127,3	90,9	49,7	176,0
Бн-II-3а	3	0,92	0,85	43,5	23,8	84,3	57,2	31,3	110,8	53,8	29,5	104,3	85,6	46,8	165,8
Бн-II-4	3	1,01	0,52	34,5	18,9	66,9	48,1	26,3	93,2	52,7	28,8	102,0	83,4	45,6	161,8
Бн-II-4а	3	0,96	0,55	34,7	19,0	67,3	52,6	28,8	101,8	50,0	32,9	116,3	82,5	45,1	159,8
Бн-II-5	3	1,00	0	17,8	9,7	34,5	30,7	16,8	59,5	26,3	14,4	51,0	77,2	42,2	150,0
Бн-II-5а	3	0,97	0	20,4	14,3	50,5	39,5	21,6	76,5	35,1	19,2	68,0	72,1	39,4	139,7
Бн-I-3	1,5	0,94	0,91	59,1	16,0	186,7	58,3	15,8	180,3	47,6	12,9	152,3	69,2	18,8	221,1
Бн-I-3а	1,5	0,92	0,9	53,6	14,6	171,3	56,7	15,9	167,5	42,4	11,5	145,4	63,3	17,2	203,9
Бн-III-3	4,5	0,92	0,89	43,7	37,1	67,3	52,4	44,4	80,6	71,2	60,4	109,6	80,1	68,0	123,0
Бн-III-3а	4,5	0,94	0,94	44,4	37,7	68,4	52,9	44,9	81,4	68,4	58,1	106,3	81,6	69,3	125,6

118

Опытные и расчетные (по / 5 /) значения  
поперечных сил

Шифр балки	Характер разрушения балки	Поперечная сила при разрушении $Q_p$ кН	Расчетная величина сопротивления балки действию поперечных сил $Q_{p, \text{нн}}$ по нормам / 5 /	Отношение
				$\frac{Q_p}{Q_{p, \text{нн}}} \cdot 100\%$ %
1	2	3	4	5
БН-П-1	по наклонному сечению	127,5	93,9	136
БН-П-1а		110,5	91,7	120
БН-П-2	"	144,5	98,6	147
БН-П-2а	"	157,3	101,3	155
БН-П-3	"	176,0	101,7	168
БН-П-3а	"	165,8	103,1	161
БН-П-4	"	161,8	103,1	157
БН-П-4а	"	159,8	103,1	155
БН-П-5	"	150,0	103,9	144,5
БН-П-5а	"	139,7	103,1	135
БН-И-3	"	221,1	145,1	152
БН-И-3а	"	203,9	143,9	141
БН-Ш-3	"	123,3	101,4	122
БН-Ш-3а	"-и	125,6	102,0	123



ся с помощью мессур на базе 30 см, индикаторов перемещений часового типа с ценой деления 0,001 мм, образцовых манометров гидросистемы и образцового эталонного динамометра ДДС-50.

Рабочее нагружение опытных балок (гидравлическими домкратами ДГС-50) производилось этапами, составляющими  $\sim 1/10$  от ожидаемой разрушающей нагрузки, с выдержкой на каждом из них 10-15 мин. За это время снимались показания индикаторов, прогибометров, фиксировалось образование и развитие трещин, измерялась ширина их раскрытия. Показания приборов на каждом этапе снимались дважды - сразу же после приложения нагрузки и после выдержки.

Величина усилий при образовании трещин и исчерпанию несущей способности опытных балок приведены в таблице 3. Морфология трещинообразования и характер разрушения показаны на рис.2. Все образцы разрушились по наклонному сечению. В таблице 4 изложены опытные значения поперечных сил и расчетные величины сопротивления балок действию поперечных сил, подсчитанные по нормам / 5 /. Приведенные результаты экспериментов свидетельствуют о необходимости введения корректив в расчетные зависимости норм / 5 / при оценке прочности железобетонных изгибаемых элементов, работающих с двузначной эпюрой моментов, на действие поперечных сил.

#### Л и т е р а т у р а

1. ГОСТ 12004-66. Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение. - М.: Изд-во стандартов, 1972.- 13 с.
2. ГОСТ 18105-72\*. Бетоны. Контроль и оценка однородности и прочности. - М.: Изд-во стандартов, 1980.- 24 с.
3. ГОСТ 10161.1-81. Смеси бетонные. Методы определения удобоукладываемости.- М.: Изд-во стандартов, 1983.- 6 с.
4. Лединский М.Д. Испытание бетона: Справочное пособие.- М.: Стройиздат, 1980.- 359 с.
5. СНиП 2.03.01-84. Бетонные и железобетонные конструкции/ Госстрой СССР.- М.: ЦИТИ Госстроя СССР, 1985.- 79 с.