

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

А. В. БЕЛУБЕКЯН

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ БАЛОК ИЗ ЛЕГКОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА ПРИ СОВМЕСТНОМ ДЕЙСТВИИ ИЗГИБА И КРУЧЕНИЯ\*

Систематические экспериментально-теоретические исследования работы армированных элементов из тяжелого бетона при одновременном действии изгиба и кручения впервые были выполнены под руководством проф. А. А. Гвоздева в ЦНИПС (1948—49 гг.), а затем продолжены в НИИЖБ [1], [2]. В процессе исследования были выявлены два характерных случая разрушения железобетонных балок. В первом случае трещины развиваются по двум боковым и одной горизонтальной грани балки. Во втором случае трещины развиваются по двум горизонтальным и одной вертикальной грани балки. По результатам исследований были предложены формулы для определения несущей способности железобетонных элементов при совместном действии изгиба и кручения, которые нашли отражение в действующих общесоюзных нормативных положениях [3].

В 1962 г. В. К. Юдин [4] предложил уточнить расчетные формулы [3], так как им была выявлена некоторая нелогичность, заключающаяся в том, что недостаток продольной арматуры по [3] может быть компенсирован избытком поперечной арматуры и наоборот.

Исследования работы армированных балок из тяжелого бетона при одновременном действии изгиба и кручения были проведены также в Австралии Г. Коаном [5], в США Г. Гезундом, Л. Бостоном, Г. Бухананом [6]. Критический обзор экспериментальных исследований по затронутому вопросу дается в статье М. Госнами и Д. Рей [7].

Прочность железобетонных балок из легкого бетона на естественных заполнителях при рассматриваемом сложном напряженном состоянии, насколько автору известно, никем еще не была изучена. Необходимость изучения этого вопроса в Армянской ССР диктуется практикой проектирования и возведения ответственных несущих конструкций из легкого железобетона, получивших массовое применение в республике.

В данной статье приводятся результаты проведенных автором экспериментов по несущей способности одной серии балок из легкого бетона на литондной пемзе и двух балок из тяжелого бетона при одновременном действии изгибающих и крутящих моментов.

\* Научный руководитель проф. В. В. Винаджян

Эксперименты производились на специальном стенде (рис. 1), позволяющем испытывать балки на чистое кручение и изгиб, а также при совместном действии изгиба и кручения с приложением сил в любой последовательности. Изгибающий момент создавался 10 т та-

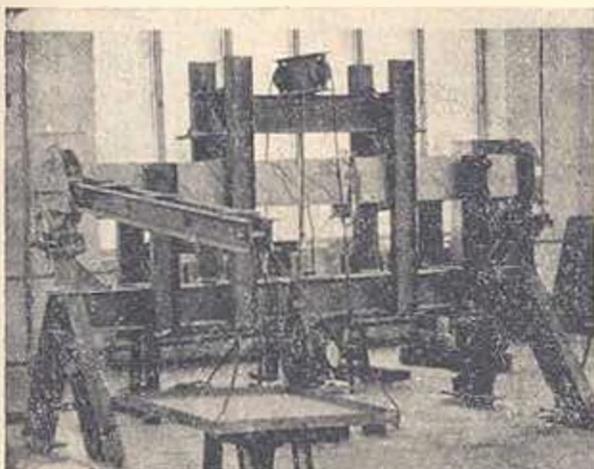


Рис. 1. Общий вид стенда для испытания балок на изгиб и кручение.

рированным домкратом и траверсой с шаровыми шарнирами (рис. 2). Крутящий момент создавался рычагами, соединенными с концами балки с помощью двухрядных цилиндрических подшипников с планшай-

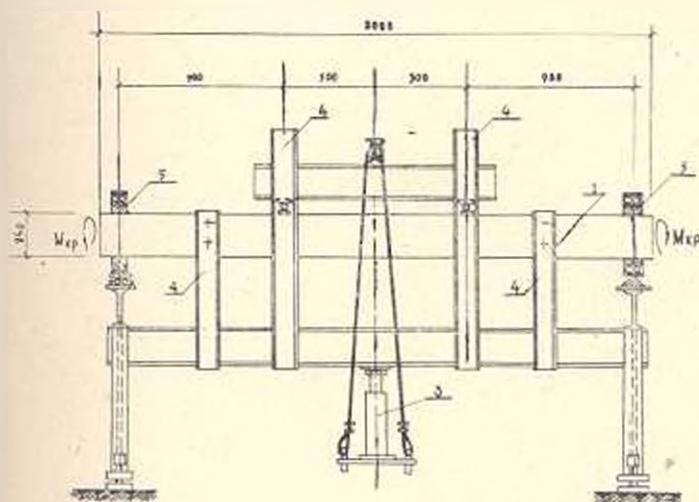


Рис. 2. Схема стенда (фасад): 1—опытная балка; 2—траверса для перелачи изгибающего момента; 3—гидравлический домкрат; 4—направляющие траверсы; 5—подшипники.

бами (рис. 3). Схема армирования балок показана на рис. 4. Процент армирования сечения балок составлял 1, 05%. Элементы каркаса из-

готовялись в виде сеток с помощью аппарата точечной сварки, затем объединялись в пространственные каркасы.

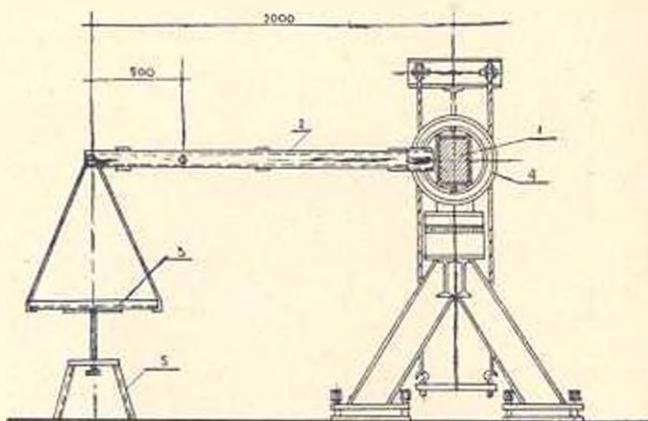


Рис. 3. Схема стенда (вид сбоку): 1—опытная балка; 2—рычаг; 3—люлька для груза; 4—подшипник с планшайбой; 5—предохранительный столик.

В качестве продольной рабочей арматуры применялась горячекатаная сталь периодического профиля класса А — II (сталь марки Ст.5) диаметром 16 мм. Хомуты изготовлялись из стали класса А — I диа-

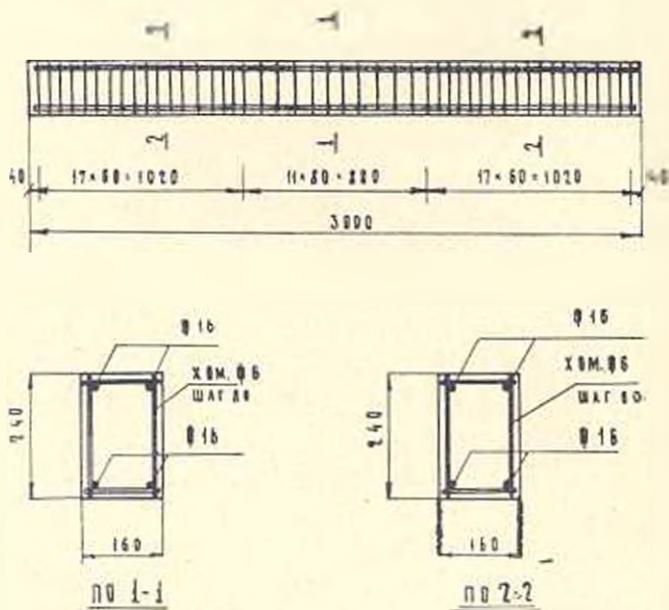


Рис. 4. Схема армирования опытных балок.

метром 6 мм. Шаг хомутов в зоне чистого изгиба принимался равным 8 см.

С целью предотвращения преждевременного разрушения опорных участков балок на этих участках шаг хомутов принимался рав-

ним 6 см. Для изготовления опытных балок применялся цемент Ара-ратского завода, активностью 500 кгс/см<sup>2</sup> и литондная пемза Джрабер-ского месторождения с объемным весом щебня  $\gamma_{ш} = 810 \text{ кг/м}^3$  и пес-ка  $\gamma_{п} = 1100 \text{ кг/м}^3$ .

Состав бетона приведен в табл. 1.

Таблица 1

Вид бетона	Расход материала на 1 м <sup>3</sup> бетона в литрах			
	цемент	песок	щебень	вода
Легкий	380	590	590	250
Тяжелый	260	410	8(Н)	200

Опытные образцы балок в количестве 9 шт. изготавливались в металлических формах, причем, одновременно изготавливались по две балки и соответствующие контрольные бетонные кубы и призмы. Уплотнение бетонной смеси осуществлялось площадным вибратором. Все образцы до 28-дневного возраста хранились во влажных опил-ках, а затем в испытательном зале.

Прочность и деформации бетона к моменту испытания опреде-лялись испытанием на сжатие контрольных кубов с размерами ребер 15 см и призм сечением 10×10 см, высотой 40 см.

Характеристики арматуры определялись согласно ГОСТ. По дан-ным испытаний предел текучести стали для рабочей продольной ар-матуры оказался равным  $\sigma_1 = 3500 \text{ кгс/см}^2$ , предел прочности  $\sigma_{кр} = 6000 \text{ кгс/см}^2$ ; предел текучести арматуры для хомутов  $\sigma_2 = 3530 \text{ кгс/см}^2$ ; предел прочности  $\sigma_{пр} = 4450 \text{ кгс/см}^2$ . Фактические геометрические размеры испытанных балок и прочностные характеристики бетона приведены в табл. 2.

Таблица 2

Индекс балки	Размеры сечения			Прочность бетона в момент испытан-ния кгс/см <sup>2</sup>		M <sub>кр.</sub> тм	M <sub>н</sub> тм	$\alpha = \frac{M_{кр.}}{M_n}$
	h см	h см	h <sub>0</sub> см	кубико-вая	призмен-ная			
Б-II-1	16,2	24	21,2	410	325	0,87	0	$\infty$
Б-II-2	16,0	24	21,2	410	325	0,28	3,1	0,09
Б-II-3	16,3	24,5	21,7	389	319	0,555	2,78	0,2
Б-II-4	16,0	24,1	21,3	389	319	0,6	2,72	0,22
Б-II-5	16,1	24,0	21,2	325	250	0,78	1,85	0,42
Б-II-6	16,2	24,0	21,2	325	250	0,775	2,04	0,38
Б-II-7	16,0	24,4	21,6	312	230	0	3,21	0
Б-I-1	16	24	21,2	324	230	0,56	3,1	0,18
Б-I-2	16	24	21,2	324	230	0,91	0	$\infty$

Балка Б-II-1 из легкого бетона и балка Б-I-2 из тяжелого бе-тона испытывались на чистое кручение ( $\alpha = \infty$ ), а балка Б-II-7 на изгиб ( $\alpha = 0$ ). Балки нагружались ступенями, равными примерно 0,1 от предполагаемой разрушающей нагрузки. Остальные семь балок

испытывались при одновременном действии изгиба и кручения в следующей последовательности.

На балки передавался крутящий момент и при этом брались отсчеты по всем приборам непосредственно после загрузки и после 10-минутной выдержки под нагрузкой. Затем балки подвергались изгибу и снова брались отсчеты по приборам. Этот процесс повторялся вплоть до разрушения балок. С целью возможно точного определения несущей способности балок, величина ступеней загрузки, в стадии близкой к разрушению, уменьшилась примерно до 0,04 от разрушающего момента.

В процессе испытания балок измерялись прогибы и углы поворота сечений по отношению к сечению в середине пролета. Измерялись также деформации арматуры и бетона. Прогибы замерялись на опорах и в середине пролета балок с точностью 0,01 мм при помощи прогибомеров ПАО-6. Углы поворотов сечений балок определялись на концах элементов и в местах изменения шага хомутов (рис. 4) путем замера перемещений сечений при помощи прогибомеров ПАО-6 с точностью 0,01 мм. Деформации бетона и арматуры измерялись в зоне чистого изгиба. Деформации всех продольных стержней определялись в трех сечениях, находящихся друг от друга на расстоянии 25 см. при помощи датчиков сопротивления. Датчики с базой 20 мм приклеивались на ребрах арматуры.

Деформации хомутов измерялись в трех сечениях при помощи датчиков, приклеенных на всех ветвях хомутов. Датчики сопротивления были гидроизолированы и концы их были выведены за пределы сечения балок. Деформации бетона на четырех гранях балок измерялись розетками датчиков сопротивления, расположенными под углом 45° к продольной оси балки.

Деформации бетона и арматуры регистрировались при помощи автоматических измерителей деформаций АИ-1 с точностью  $1 \times 10^{-3}$ . Ввиду ограниченных возможностей статьи в графах 7 и 8 табл. 2 при-

Таблица 2

Индекс балки	Вид бетона	Кубиковая прочность бетона в момент испытания кгс/см <sup>2</sup>	Величины разрушающих моментов по эксперименту		Расчетные величины разрушающих моментов, вычисленных по формулам НИИЖБ [1]	
			$M_{кр}$ тм	$M_u$ тм	$M_{кр}$ тм	$M_u$ тм
Б-П-1	Легкий	110	0,87	0	1,14	0
Б-П-2	"	110	0,28	3,1	0,25	2,74
Б-П-3	"	389	0,555	2,78	0,48	2,1
Б-П-4	"	389	0,6	2,72	0,51	2,32
Б-П-5	"	325	0,78	1,85	0,71	1,69
Б-П-6	"	325	0,775	2,04	0,69	1,81
Б-П-7	"	312	0	3,29	0	2,74
Б-1-1	Тяжелый	324	0,56	3,1	0,45	2,5
Б-1-2	"	324	0,91	0	1,14	0

водятся только величины, характеризующие несущую способность испытанных балок.

Разрушение происходило на среднем участке балок, при этом трещины развивались по двум вертикальным и одной горизонтальной грани балок, расположенной в растянутой от изгиба зоне. В табл. 3 величины разрушающих изгибающих моментов и соответствующих крутящих моментов сопоставлены с расчетными величинами, вычисленными по формулам НИИЖБ [1].

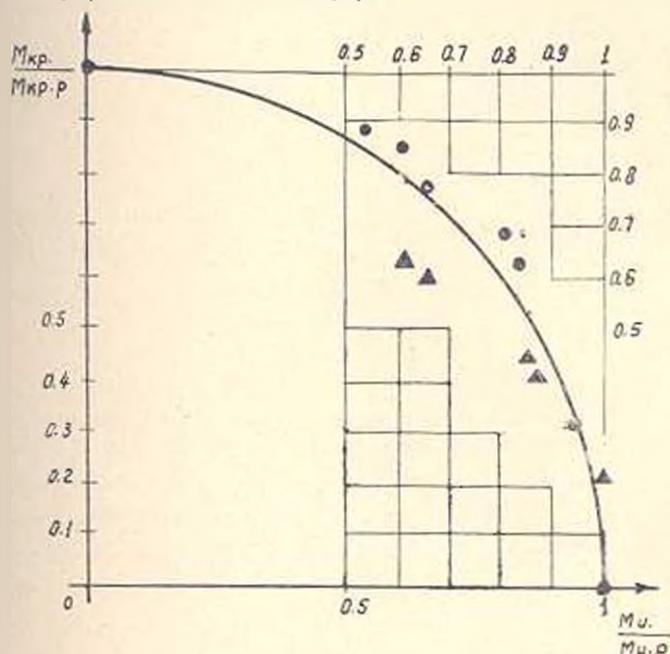


Рис. 5. График зависимости между разрушающими величинами крутящих и изгибающих моментов. Сплошными кружками показаны результаты опытов автора; треугольниками — результаты расчета по формулам НИИЖБ.

Данные, приведенные в табл. 3, представлены графически на рис. 5. Кривая на этом рисунке вычислена по формуле

$$\left(\frac{M_{кр}}{M_{кр.р}}\right)^2 + \left(\frac{M_{из}}{M_{из.р}}\right)^2 = 1, \quad (1)$$

где  $M_{кр.р}$  — разрушающий крутящий момент при отсутствии изгиба;

$M_{из.р}$  — разрушающий изгибающий момент при отсутствии кручения;

$M_{кр}$  и  $M_{из}$  — соответственно величины крутящих и изгибающих моментов, при совместном действии которых происходило разрушение балок.

Данные, приведенные в табл. 3, показывают, что при совместном действии изгиба и кручения, максимальное расхождение между экспериментальными и соответствующими расчетными величинами, вычисленными по формулам НИИЖБ, не превышает 20%. Несущая

способность балок из легкого железобетона на литондной пемзе получилась несколько ниже несущей способности балок из тяжелого бетона. Так, например, для балки Б-II-2, выполненной из легкого бетона прочностью на сжатие  $410 \text{ кгс/см}^2$ , разрушающий крутящий момент при сложном нагружении оказался вдвое меньше крутящего момента для балки Б-I-1 из тяжелого бетона прочностью  $324 \text{ кгс/см}^2$ .

В стадии разрушения балок из легкого бетона зависимость между изгибающими и крутящими моментами с некоторым запасом может быть описана уравнением (1).

АНСМ, Ереванский политехнический институт им. К. Маркса

Поступило 6.IX.1968.

Ա. Վ. ԲԵԼՍԵԿՅԱՆ

**ԹԵՄԵԻՆԻ ԵՐԱՍՏՐԱՍՏՈՒՄԻ ՀԵՄԱՆՆԵՐԻ ԿՐՈՂՈՒՄԱԿՈՒԹՅԱՆ ԼԷՄՈՒՆԻՄԵՆՏԱԿ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ՄԵՐԱՆ ԵՎ ՈՂՐՄԱՆ ՀԱՄԱՏԵՂ ԱԶՊՄԱՆ ԴԵՊՔՐՈՒՄ**

Ա մ զ և զ ո թ

Հողվածում բերված են համատեղ ծոման և ուղորման դեպքում բնական թև-թև լցիչներով պատրաստված երկաթբետոնե հեծանների կրողունակության էքսպերիմենտալ ուսումնասիրության արդյունքները: Փորձերը կատարված են հատուկ ստենդի վրա, որը հեծանը ցանկացած կոմբինացիայի ծուղ և ուղորդ մոմենտներով բեռնավորելու հնարավորություն է բնականում: Էքսպերիմենտալ սովյախերը համադրված են НИИЖБ-ի բանաձևով ստացված արդյունքների հետ:

**Л И Т Е Р А Т У Р А**

1. Лесняг Н. Н. Определение несущей способности железобетонных элементов прямоугольного сечения, работающих на изгиб с кручением. Тр. НИИЖБ, вып. 5, М., 1959.
2. Чиняков Ю. В. Исследование работы железобетонных элементов при совместном действии изгиба и кручения. Тр. НИИЖБ, Вып. 5, М., 1959.
3. СНиП II—В, 1—62. Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования, М., 1959.
4. Юдин В. К. Определение несущей способности железобетонных элементов прямоугольного сечения при совместном действии кручения и изгиба. «Бетон и железобетон», № 6, М., 1962.
5. Cowan H. J. Design of Beams Subject to Torsion Related to the New Australian Code. «JACI», 1960, 31, № 7, Proceedings 56.
6. Gesund H., Schuette F. I., Buchanan G. R. and Gray G. A. Ultimate Strength in Combined Bending and Torsion of Concrete Beams. Containing Both Longitudinal and Transverse Reinforcement. «JACI», 1964, № 12, Proceedings 61.
7. Goswami M. and Ray D. Ultimate strength of reinforced concrete beams under combined bending and torsion. «J. Sci and Engng Res», 1966, 10, № 2.