

где K_{i-1} — техническая категория дороги; I_{i-1} — интенсивность движения; H_{i-1} — высота местности над уровнем моря; i_{i-1} — продольный уклон дорожной трассы.

Приведенная система уравнений полнее отражает основные условия выбора оптимального маршрута движения автомобиля, так как она учитывает условия минимизации тарифа за перевозку, а также максимальной производительности автомобильного подвижного состава, как по каждому звену модели в отдельности, так и в целом по всему маршруту движения.

Поступило 10.X.1969.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белов Д. А., Бобирыкин В. А. Маршрутизация автомобильных перевозок. Изд. „Трансперт“, 1965.
2. Агабабян А. Г. Критерий оптимальности автомобильных перевозок. „Промышленность Армении“, № 2, 1969.
3. Форд А., Фаллкерсон Д. Потоки и сети. Изд. „Мир“, 1968.

А. В. БЕЛУБЕКЯН

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ БАЛОК ИЗ ЛЕГКОГО БЕТОНА ПРИ ИЗГИБЕ С КРУЧЕНИЕМ

В Армянском НИИ стройматериалов и сооружений (АИСМ) в 1969 г. проводились испытания армированных балок прямоугольного сечения из легкого бетона при кручении и при совместном действии изгиба и кручения. Было испытано 10 предварительно напряженных балок сечением 16 × 24 см, длиной 300 см и для сопоставления 4 аналогичные балки с ненапряженной арматурой. Эксперименты проводились на специальном стенде, позволяющем испытывать балки на чистое кручение, а также на изгиб с кручением [1].

Продольное армирование балок — 4Ø 12 мм из стали марки 35ГС (по одному стержню в каждом углу сечения); поперечное — замкнутые хомуты диаметром 6 мм из стали марки Ст-3 с пределом текучести 3100 кг/см². Шаг хомутов на исследуемом участке балок (100 см), принимался равным 10 см и 20 см. С целью предотвращения преждевременного разрушения опорных участков балок, шаг хомутов на этих участках был учащен и принимался равным 6 см. Предварительно напряженные балки изготавливались на открытом стенде экспериментального полигона АИСМ. Натяжение арматуры производилось гидравлическим домкратом с передачей усилия на упоры. Механическим упрочнением предел текучести стали был повышен с 4070 кг/см² до 6060 кг/см². Балки изготавливались в металлических формах и были распаублены на третий сутки, после чего до момента

испытания хранились по влажным условиям. Бетон, объемным весом около 1750 кг/м^3 , для всех балок приготовлялся на литонидной пемзе [2]. В качестве вяжущего использовался портландцемент Араратского завода активностью 500 кг/см^2 . Прочностные характеристики бетона определялись испытанием бетонных кубов с размером ребер 15 см . Предел прочности бетона на разрыв R_p определялся путем раскола бетонных призм размерами $10 \times 10 \times 40 \text{ см}$. Механические характеристики балок приведены в табл. 1.

Таблица 1

Механические характеристики испытанных балок

Номера балок	Шаг хомутов в исследуемой зоне балок, см	Прочность бетона (28-дневная), кг/см^2		Предел текучести продольной арматуры, кг/см^2	Величина предварительного напряжения, кг/см^2		Момент предпробирования (фактический) $M_{кр. р.} \text{ кг/м}$	Разрушающие моменты (фактические), кг/м		
		кубиковая R_k	на разрыв R_p		в арматуре	в бетоне		крутящий M_k	изгибающий M_n	$\lambda = \frac{M_k}{M_n}$
БПН-1	10	270	14,2	6060	4390	51,2	690	1050	0	∞
БПН-2*	10	270	14,2	6060	0	0	330	645	0	∞
БПН-3	10	270	14,2	6060	4390	51,2	690	1050	0	∞
БПН-4	10	305	15,0	6060	4390	51,2		0	2900	0
БПН-5*	10	316	15,1	6060	0	0	375	690	0	∞
БПН-6	10	316	15,1	6060	4390	51,2	555	690	2300	0,30
БПН-7	10	316	15,1	6060	4390	51,2	420	555	2780	0,20
БПН-8	10	255	14,1	6060	4390	51,1	555	735	2100	0,35
БПН-9	10	255	14,1	6060	4390	51,1	600	780	1950	0,40
БПН-10	10	255	14,1	6060	4390	51,1	600	825	1650	0,50
БПН-11	20	255	14,1	6060	4390	51,1	690	780	0	∞
БПН-12	20	255	14,1	6060	4390	51,1	690	780	0	∞
БПН-13*	6	270	14,2	6060	0	0	330	960	0	∞
БПН-14*	6	270	14,2	6060	0	0	330	960	0	∞

* С ненапряженной арматурой.

Передача усилий на бетон в предварительно напряженных балках осуществлялась на 20 сутки с момента бетонирования, когда кубиковая прочность бетона составляла $70-75\%$ от проектной прочности. Предварительное напряжение верхней и нижней арматуры было одинаковое и поэтому бетон был центрально обжат.

Нагружение балок на стенде осуществлялось ступенями, равными $0,1 M_{кр. р.}$ и $0,1 M_{н. р.}$ ($M_{кр. р.}$ и $M_{н. р.}$ — соответственно ожидаемые разрушающие крутящий и изгибающий моменты), с передачей на балку сперва изгибающего, а затем крутящего моментов. Вслед за этим брались отсчеты по всем приборам и после 15 минутной выдержки нагрузки осуществлялась следующая ступень нагружения. С целью более точного определения несущей способности балок в стадии, близкой к разрушению, величина ступеней нагружения уменьшалась вдвое. Деформации бетона и арматуры измерялись при помощи датчиков сопротивления, причем датчики, наклеенные на ар-

матуру, были гидронизолированы. Показания датчиков регистрировались прибором АИ-1. Прогибы балок и углы закручивания сечений измерялись прогибомерами ПАО-6.

Первые трещины при кручении возникали на боковых гранях балок примерно на уровне их продольной оси. По мере роста нагрузки трещина, развиваясь, переходила на горизонтальные грани балки, образуя винтообразную линию. Угол наклона трещины составлял в предварительно напряженных балках $30-31^\circ$ к продольной оси, а в ненапряженных — $44-45^\circ$. Результаты испытания на кручение четырех обычных и четырех предварительно напряженных балок приведены в табл. 1. По данным прямых измерений, величины напряжений в поперечной и продольной арматуре до момента трещинообразования были небольшие (рис. 1). После возникновения характерных спиральных

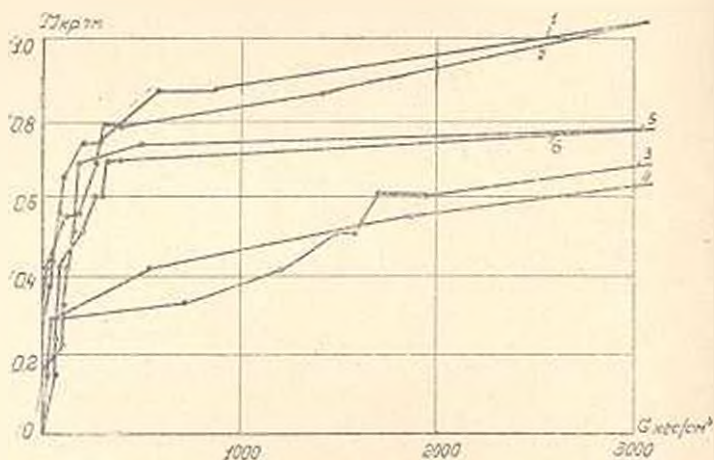


Рис. 1. Зависимость между крутящими моментами и напряжениями в хомутах при кручении балок.

- 1 — Балка БПН — 1; 2 — Балка БПН — 3; 3 — Балка БПН — 2;
4 — Балка БПН — 5; 5 — Балка БПН — 11; 6 — Балка БПН — 12.

трещины напряжения в хомутах всех испытанных балок достигали предела текучести. Напряжения в продольной арматуре как обычных, так и предварительно напряженных балок достигали $0,5-0,6$ предела текучести. По данным табл. 1 нетрудно заметить, что предварительное напряжение бетона интенсивностью 51 кг/см^2 примерно вдвое повышает момент трещиностойкости балок при кручении.

Величины разрушающих крутящих и соответствующих изгибающих моментов предварительно напряженных и ненапряженных балок даны в табл. 1. Параметр χ представляет собой отношение крутящего момента к изгибающему. Результаты прямых измерений величин напряжений в продольной и поперечной арматуре балок, испытанных при совместном действии крутящих и изгибающих моментов, приведены на рисунках 2 и 3. В балке БПН — 10, где величина крутящего момента была относительно велика ($\chi = 0,5$), в стадии, близкой к разрушению, наблюдалось резкое возрастание напряжений в продольной ар-

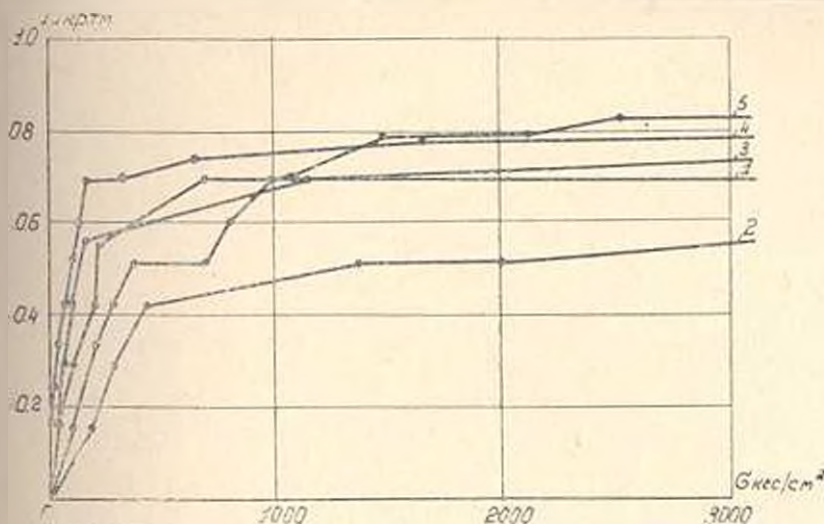


Рис. 2. Зависимость между крутящими моментами и напряжениями в хомутах при изгибе с кручением.

- 1 — Балка БПН — 6 при $\alpha = 0,3$; 2 — Балка БПН — 7 при $\alpha = 0,2$;
3 — Балка БПН — 8 при $\alpha = 0,35$; 4 — Балка БПН — 9 при $\alpha = 0,4$;
5 — Балка БПН — 10 при $\alpha = 0,5$.

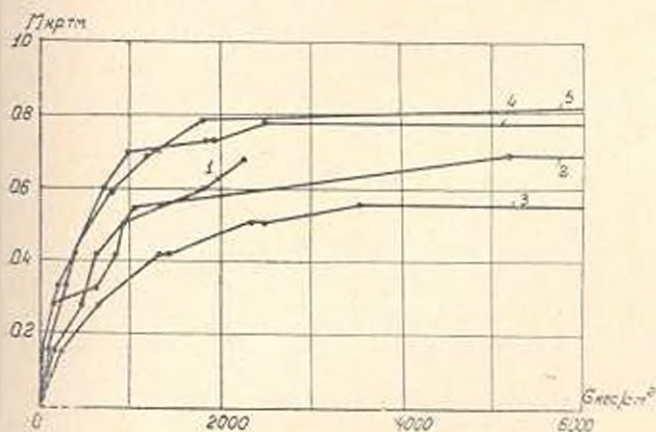


Рис. 3. Зависимость между крутящими моментами и напряжениями в продольной арматуре.

- 1 — Балка БПН — 5 при $\alpha = \infty$; 2 — Балка БПН — 6 при $\alpha = 0,3$;
3 — Балка БПН — 7 при $\alpha = 0,2$; 4 — Балка БПН — 9 при $\alpha = 0,4$;
5 — Балка БПН — 10 при $\alpha = 0,5$.

матуре. Несколько иной была картина в балках БПН — 6 и БПН — 7, где величина крутящего момента была меньше ($\alpha = 0,2 + 0,3$). Здесь наблюдалось плавное возрастание напряжений в продольной арматуре. Во всех пяти балках, испытанных на изгиб с кручением, в стадии их разрушения напряжения в продольной и поперечной арматуре достигали предела текучести.

Данные, приведенные в последних трех графах табл. 1, графически представлены на рис. 4. На этом рисунке кривая построена с использованием данных [1] по формуле:

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

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

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

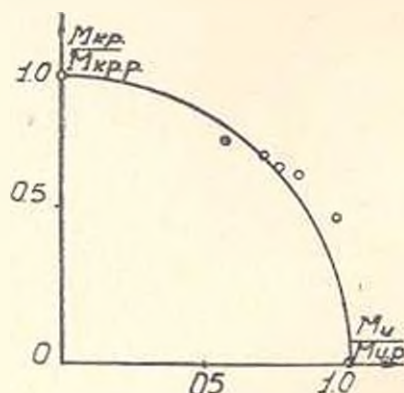


Рис. 4. График зависимости между разрушающими крутящими и изгибающими моментами.

Резюмируя изложенное, отметим, что по результатам испытаний предварительное напряжение существенно повышает трещиностойкость балок, работающих на кручение и на изгиб с кручением. Несущая способность предварительно напряженных балок при кручении оказалась в среднем на 30% выше несущей способности аналогичных ненапряженных балок. При совместном действии изгиба и кручения, в случае, когда α находился в пределах 0,2–0,5, напряжения в продольной и поперечной арматуре в стадии разрушения достигали предела текучести. В этом случае увеличения несущей способности в предварительно напряженных балках, по сравнению с ранее испытанными [1] ненапряженными балками, не наблюдалось.

АИСМ,

Ереванский политехнический институт

Поступило 25.IX.1969.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белубекян А. В. Экспериментальное исследование несущей способности балок из легкого железобетона при совместном действии изгиба и кручения. „Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)“, т. XXI, № 5, 1968.
2. Белубекян А. В. К вопросу сопротивления бетонных и железобетонных балок при кручении. „Известия АН АрмССР (серия Т. Н.)“, г. XXII, № 2, 1969.