

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Г. М. КАМЕЦЯН

СТАТИЧЕСКАЯ И УСТАЛОСТНАЯ ПРОЧНОСТЬ
 СТРУНОБЕТОННЫХ БАЛОК*

Сообщение 4

В [1] была описана технология изготовления длиномерных струнобетонных балок из легкого бетона на природных заполнителях и приведены результаты их испытаний под кратковременной и длительной статической нагрузкой. В данном сообщении приводятся результаты испытания на усталость серии струнобетонных балок из легкого бетона прочностью на сжатие 350—400 кг/см² на природных заполнителях, армированных высокопрочной проволокой периодического профиля диаметром 4 мм (ГОСТ 8480—57). Испытанию были подвергнуты 11 балок длиной 270 см, сечением 18×27 см (рис. 1), из коих

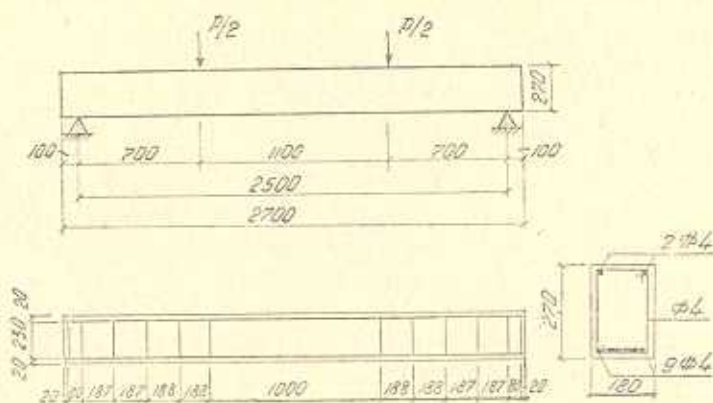


Рис. 1.

4 балки на литоидно-пемзовом щебне и кварцевом песке, 3 балки на чисто литоидно-пемзовом заполнителе, 4 балки на перлите в естественно-вспученном состоянии. Балки были спроектированы так, чтобы их разрушение под статической нагрузкой происходило от разрыва арматуры в растянутой зоне. Контролируемое напряжение арматуры балок было принято равным $\sigma_0 = 0,75 R_b'' = 120 \text{ кг/мм}^2$.

Геометрические характеристики балок: высота сечения $h = 27 \text{ см}$, рабочая высота сечения $h_0 = 25 \text{ см}$; ширина сечения $b = 18 \text{ см}$; площадь

* Научный руководитель проблемы проф. В. В. Пинаджян.

сечения арматуры нижней зоны $F_a = 9\Phi 4 = 113,4 \text{ мм}^2$; верхней зоны $F'_a = 2\Phi 4 = 25,2 \text{ мм}^2$; площадь приведенного поперечного сечения балки $F_{оп} = 499 \text{ см}^2$; статический момент приведенного сечения относительно нижней грани балки $S_{оп} = 6600 \text{ см}^3$; расстояние от центра тяжести приведенного сечения до нижней грани балки $y_{цт} = 13,1 \text{ см}$; момент инерции приведенного сечения относительно центра тяжести сечения $I_{оп} = 41200 \text{ см}^4$; расстояние центра тяжести всей продольной арматуры до нижней грани балки $y_a = 6,2 \text{ см}$; эксцентриситет приложения продольной силы при обжатии бетона $e = 6,9 \text{ см}$; модуль упругости проволоки при растяжении $E_a = 18000 \text{ кг/мм}^2$; минимальный предел прочности проволоки на разрыв $R_a^u = 160 \text{ кг/мм}^2$.

Балки проектировались согласно [2], при этом потери предварительного напряжения арматуры были приняты равными с учетом экспериментальных данных [1]:

а) от усадки бетона

$$\sigma_y = \varepsilon_y E_a = 70 \cdot 10^{-5} \times 1800000 = 1260 \text{ кг/см}^2;$$

б) от ползучести бетона при средней интенсивности напряжения в бетоне 53 кг/см^2 .

$$\sigma_{пл} = C \sigma_0 E_a = 50 \cdot 10^{-1} \times 53 \times 1800000 = 475 \text{ кг/см}^2;$$

в) от релаксации напряжений высокопрочной проволоки

$$\sigma_p = (0,27 \sigma_1 / R_a^u - 0,1) \sigma_0 = (0,27 \cdot 0,75 - 0,1) 12000 = 1240 \text{ кг/см}^2.$$

Суммарные потери напряжений,

$$\sigma_n = \sigma_y + \sigma_{пл} + \sigma_p = 2975 \text{ кг/см}^2.$$

Расчетный изгибающий момент трещиностойкости струнобетонных балок при статическом нагружении, вычисленный в соответствии с [2] оказался равным $M_t = 2,44 \text{ тм}$; расчетный разрушающий изгибающий момент при статическом нагружении — $M_p = 4,35 \text{ тм}$.

Струнобетонные балки, а также контрольные бетонные кубики и призмы изготавливались в металлических формах на стенде экспериментально-производственной базы АИСМ. Испытание струнобетонных балок на изгиб производилось по схеме, показанной на рис. 1 на 50-тонном гидравлическом прессе ГРМ—1 с пульсатором (рис. 2). Деформационные характеристики бетонных призм при сжатии и образцов высокопрочной проволоки при растяжении определялись испытанием образцов на 100-тонном прецизионном гидравлическом прессе „Рейли“, при этом деформации в бетоне измерялись с точностью до 1—2 мк с мессурами, а арматуры с точностью до 1 мк тензодатчиками. Модуль деформации бетона при сжимающем напряжении $0,2 R_{оп}$ оказался равным $E_0 = 1900 \text{ кг/мм}^2$.

Методика исследований балок здесь не описывается, так как она принята была такой же как и при исследовании струнобетонных балок из тяжелого бетона [3]. Результаты испытания трех балок под статической нагрузкой, доведенных до разрушения, представлены в

табл. 1. С целью фиксации возможного сдвига арматуры по отношению к бетону, по торцам балок были установлены тензометры. Судя по показаниям приборов вплоть до разрушения балок явление про-

Таблица 1

Результаты статического испытания струнбетонных балок длиной 2,70 м из легких бетонов на природных заполнителях

Номера балок*	Кубиковая прочность бетона при испытании балок $кг/см^2$	$M_{тр}$ — расчетный момент трещиноустойчивости (т.м)	$M_{фр}$ — фактический момент трещиноустойчивости (т.м)	M_p — расчетный разрушающий момент (т.м)	$M_{фр}$ — фактический разрушающий момент (т.м)	f — прогибы в середине пролета при $0,5M_p$ (мм)	f/l
ПК-1	392	2,44	2,45	4,35	4,39	3,8	1/660
ПЛ-1	361	2,44	2,45	4,35	4,41	5,7	1/440
П-4	415	2,44	2,45	4,35	4,38	3,6	1/695

* ПК — бетон на литондно-пемзовом щебне и кварцевом песке; ПЛ — бетон на литондно-пемзовом щебне и песке; П — бетон на перлитовом щебне и песке в естественно-вспученном состоянии; l — пролет балки.

скальзывания арматуры в бетоне не наблюдается. Статическое разрушение балок произошло от разрыва арматуры, расположенной в

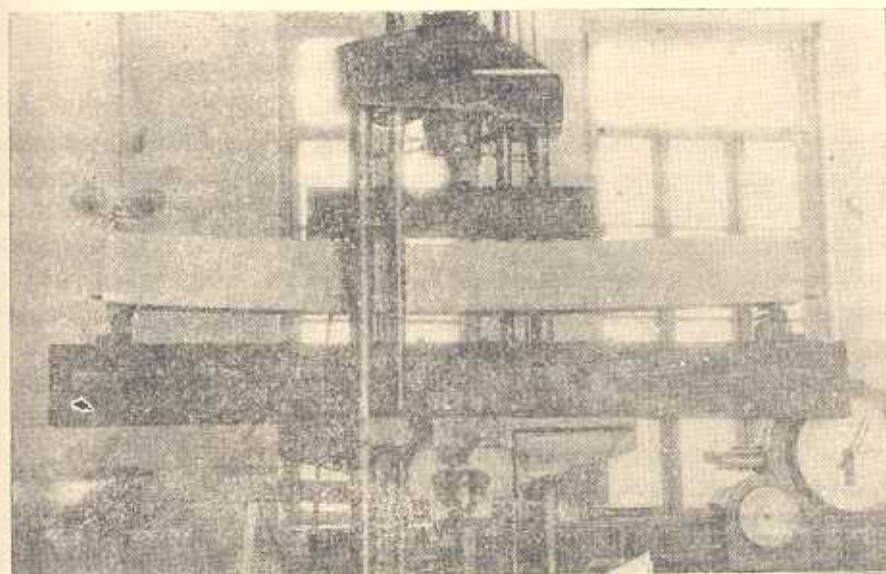


Рис. 2.

растянутой зоне балки, при этом фактические и расчетные разрушающие моменты по величине оказались очень близки друг к другу.

Под многократно-повторной нагрузкой были испытаны 8 балок на базе 2 млн циклов нагружения с частотой 6,7 герц.

С целью выявления изменения жесткости балок от действия пульсирующей нагрузки после каждых 250000 циклов нагружения производились статические промежуточные испытания балок с соответствующим измерением прогибов. Основные результаты испытания балок под пульсирующей нагрузкой представлены в табл. 2.

На рис. 3, 4 и 5 показаны зависимости стрел прогибов трех струнбетонных балок от величины нагрузки и числа циклов их нагружения. Как видно из этих графиков в результате действия пуль-

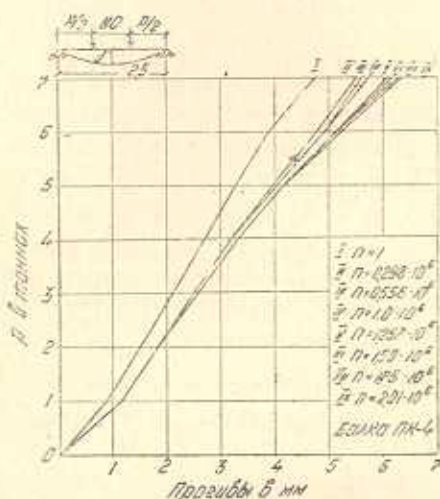


Рис. 3.

сирующей нагрузки изгибная жесткость балок заметно уменьшилась. В основном это является следствием нарушения сцепления между арматурой и бетоном на участках балок, в которых возникали трещины.

При многократно повторной нагрузке в шести балках из восьми, где максимальный изгибный момент не превышал расчетного изгибающего момента трещиностойки M_T , база в 2 млн циклов — была пройдена.

Согласно программе испытаний в остальных двух балках (балки П-1 и П-2) максимальный изгибающий момент превышал величину M_T на 10%. Одна из этих балок (балка П-2) разрушилась при 1,037 млн циклов нагружения вследствие усталостного разрыва арматуры. Так же как и в опытах со струнбетонными балками из тяжелого бетона [3] наблюдалось не мгновенное, а постепенное разрушение балки П-2. А именно, приблизительно при 1 млн циклов нагружения наблюдался разрыв одной проволоки в нижней растянутой зоне балки. Затем после нескольких десятков тысяч циклов нагружения наблюдался постепенный разрыв остальных проволок. Одновременно имело место интенсивное развитие трещин и возрастание прогиба балки.

Таблица 2

Результаты испытания струнбесбетонных балок длиной 2,7 м из легких бетонов на природных записниках под пульсирующей нагрузкой

Номера балок*	Кубиковая прочность бетона при испытании (кг/см ²)		Изгибающие моменты при пульсирую- щей нагруз- ке (т·м)		M _{min} /M _{max}		Напряжения в струнах при пульсирующей нагрузке (кг/см ²)		f = σ _{min} /σ _{max}	M _p — расчетный раз- рушающий момент при статическом напряже- нии (т·м)	M _p — фактический разрушающий момент (т·м)	M _p /M _p	Число циклов напряже- ния n	Прогнбы балок в середине проле- га при 0,5·M _p (м·ю)		f _{0,1}	f _{0,1}	Причина прекращения испытания
	M _{min}	M _{max}	σ _{min}	σ _{max}	в начале испыта- ния f ₀	в конце испыта- ния f _к												
ПК-2	360	1,05	2,45	0,43	101	107	0,94	4,35	4,11	0,94	4,25	0,94	2330000	5,40	1/580	1/464	Пройдена база	
ПК-3	395	1,05	2,45	0,43	101	107	0,94	4,35	4,65	0,94	3,49	0,94	2110000	4,24	1/718	1/580	То же	
ПК-4	358	1,05	2,45	0,43	101	107	0,94	4,35	4,61	0,94	4,10	0,94	2010000	5,30	1/610	1/475	То же	
ПЛ-3	384	1,05	2,45	0,43	101	107	0,94	4,35	4,62	0,94	5,62	0,94	2010000	6,63	1/450	1/377	То же	
ПЛ-4	360	1,02	2,10	0,49	99	105	0,93	4,35	4,30	0,93	6,50	0,93	1000000	7,30	1/390	1/340	Испытание приостано- влено из-за дефекта пульсатора	
П-1	385	1,05	2,80	0,37	101	109	0,92	4,35	4,20	0,92	3,90	0,92	2130000	4,90	1/640	1/510	Пройдена база	
П-2	402	1,05	2,80	0,37	101	109	0,92	4,35	2,80	0,92	3,40	0,92	1037000	4,10	1/735	1/610	Разрыв арматуры	
П-3	412	1,05	2,45	0,43	101	107	0,94	4,35	4,83	0,94	3,40	0,94	2500000	4,80	1/735	1/520	Пройдена база	

* См. примечание к табл. 1.

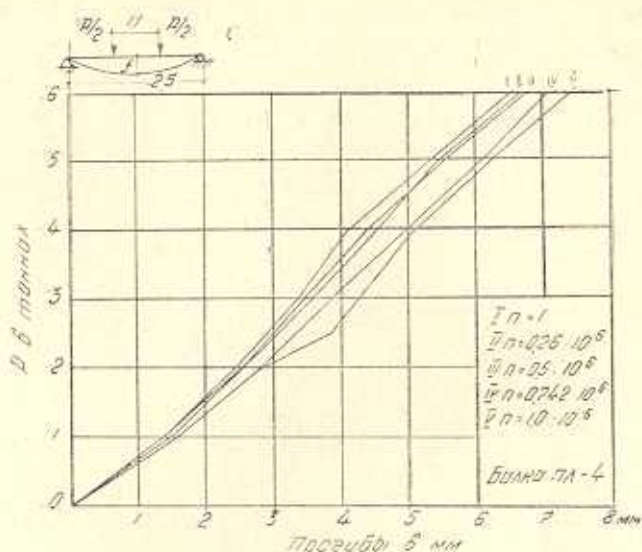


Рис. 4.

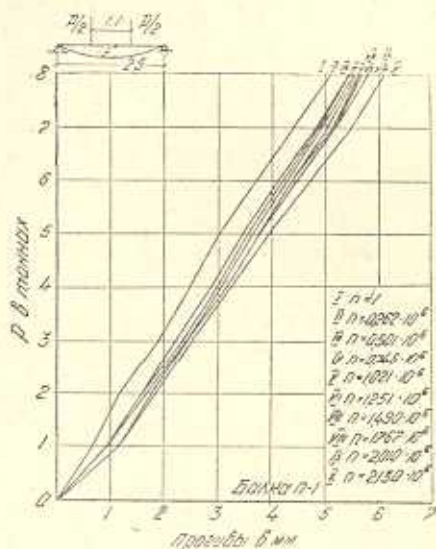


Рис. 5.

Жесткость испытанных струнотонных балок после 2 млн циклов нагружения уменьшилась в среднем на 22% по сравнению с их жесткостью при однократном статическом нагружении. Несмотря на это относительный прогиб балок после 2 млн циклов нагружения оказался меньше относительного прогиба допускаемого действующими нормативными положениями по мостам [4].

По проведенным экспериментальным исследованиям можно прийти к заключению, что несущая способность предварительно напряженных балок из легкого бетона, армированных высокопрочной проволокой после 2 млн циклов нагружения, при соблюдении условий

$M_{max} \ll M_T$ и $\rho > 0,9$ оказалась одинаковой с несущей способностью таких же балок при однократном статическом нагружении.

Армянский НИИ

строительных материалов и сооружений

Поступило 30.XII 1963.

Հ. Խ. ԿԱՆԵՑՅԱՆ

ԼԱՐԱՔԵՏՈՆԵ ՀԵԾԱՆՆԵՐԻ ՍՏԱՏԻԿԱԿԱՆ ԵՎ ՀՈԳՆԱԾԱՅԻՆ ԱՄՐՈՒԹՅՈՒՆԸ

Հաղորդում 4

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Հողվածում բերված է բնական լցիչներով 350—400 կգ/սմ² սեղմման ամբուխյուն ունեցող և 4 մմ արամագծով բարձրամուր լարով ամրանավորված թեթև բետոնե հեծանների հոգնածային փորձարկման արդյունքները (մեթոդը նկարագրված է [3] հոդվածում):

Փորձարկված ութը հեծաններից վեցը, որոնցում մաքսիմում ծուղ մոմենտը չի գերազանցել ճարակայունություն մոմենտին, զիմացել են 2 միլիոն ցիկլ բեռնավորման: Հեծանների ծաման կոշտությունը 2 մլն. ցիկլ բեռնավորումից հետո, համեմատած նրանց միապատիկ ստատիկ բեռնավորման ժամանակ ունեցած կոշտության հետ, պակասել է մոտ 22 տոկոսով և առաջացած ճկվածքը չի գերազանցել կամուրջների համար նորմաներով թույլատրվող ճկվածքից (4):

Հողվածում ցույց է տրվում բազմակի կրկնվող բեռնավորման ենթարկվող լարաբետոնե կոնստրուկցիաներում բնական լցիչներից պատրաստված բարձրամուր բետոնների կիրառման նախախորությունը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Канеян, Г. М. Статическая и усталостная прочность струнобетонных балок, сообщение 3. Известия АН Армянской ССР, т. XVII, вып. 2, 1964.
2. Строительные нормы и правила, часть II, раздел В, глава 1. Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования. М., 1962.
3. Панадзյан В. В., Аветисян Р. С. Статическая и усталостная прочность струнобетонных балок, сообщение I. Известия АН Армянской ССР, т. XV, вып. 3, 1962.
4. Технические условия проектирования железобетонных, автодорожных и городских мостов и труб (СН 200—62). Трансжелдориздат, 1962.