

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Л. Я. Вниер и В. В. Пинаджян

Экспериментальное изучение влияния ползучести бетона на работу внецентренно-сжатых железобетонных коротких стоек

Представлено чл.-кorr. АН Армянской ССР А. Г. Назаровым 27.V.1959

Описанные в статье опыты были предприняты в связи с постройкой в Закавказье ряда городских железобетонных мостов с несущим арматурным каркасом, один из которых является наиболее крупным сооружением этого типа в нашей стране. Вследствие допущения повышенных монтажных напряжений в элементах каркаса и действия усадки и ползучести бетона возникли сомнения в отношении длительной несущей способности сооружения. Произведенными опытами затронутый вопрос получил некоторое освещение.

Объем произведенных испытаний характеризуется табл. 1.

Образцы испытаний изготавливались из полужесткого бетона марки „250“, состава 1:2, 1:3 при водоцементном отношении 0,52. В качестве заполнителя применялся гранулированный базальтовый щебень с максимальной крупностью фракций в 25 мм и речной песок. В качестве вяжущего — цемент Араратского завода марки „400“. Модуль упругости арматурной стали, определенный опытным путем, оказался равным $E_a = 2010000 \text{ кг/см}^2$; предел текучести стали $\sigma_s = 2700 \text{ кг/см}^2$.

Длительные испытания производились на специальных пружинных установках (фиг. 1), способных развивать усилие до 33 т, в помещении, где температура в течение всего периода испытаний колебалась от 18 до 25°C, а относительная влажность воздуха в пределах 70—80%. Для всех образцов испытания в помещении соблюдался одинаковый режим хранения.

Ввиду того, что на осуществленных в Закавказье железобетонных мостах с несущим арматурным каркасом максимальное отклонение кривой давления арок от геометрической оси арок не превышало 10% высоты сечения, в опытах эксцентриситет приложения нагрузки был принят равным $e = 0,1h$ (h — высота сечения).

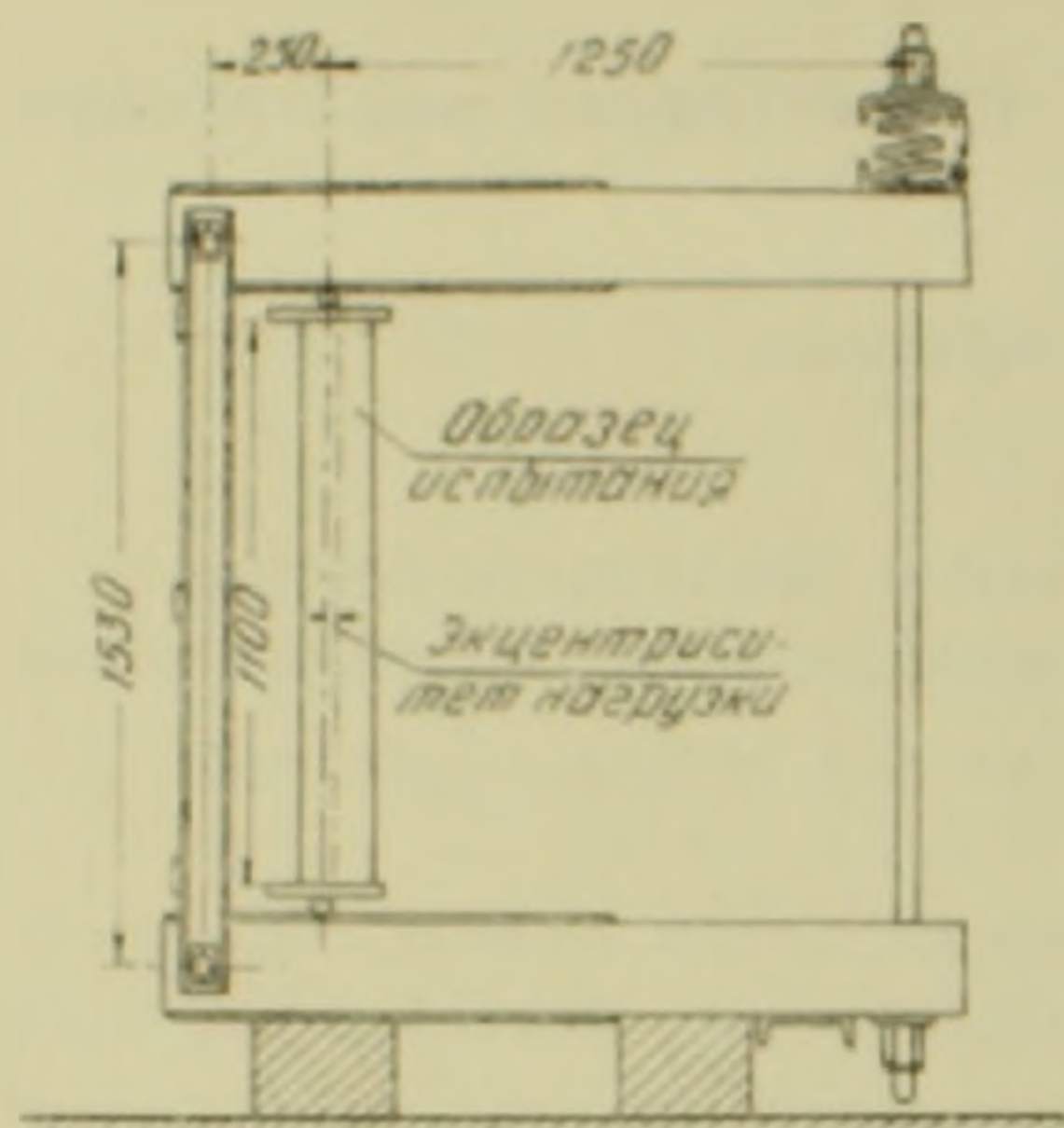
Длительная нагрузка была принята постоянной, имея в виду, что основной силой, вызывающей ползучесть бетона, является собственный вес моста.

В опытах измерение деформаций бетона и арматуры производилось индикаторными тензометрами с базой 300 мм с микронными индикаторами при кратковременных испытаниях и десятимикронными индикаторами при длительных испытаниях.

Опытные величины мгновенных упругих и прочностных характеристик бетона в зависимости от

его возраста и интенсивности сжимающего напряжения ($\sigma = 25, 50$ и 75 кг/см^2), приведены в табл. 2.

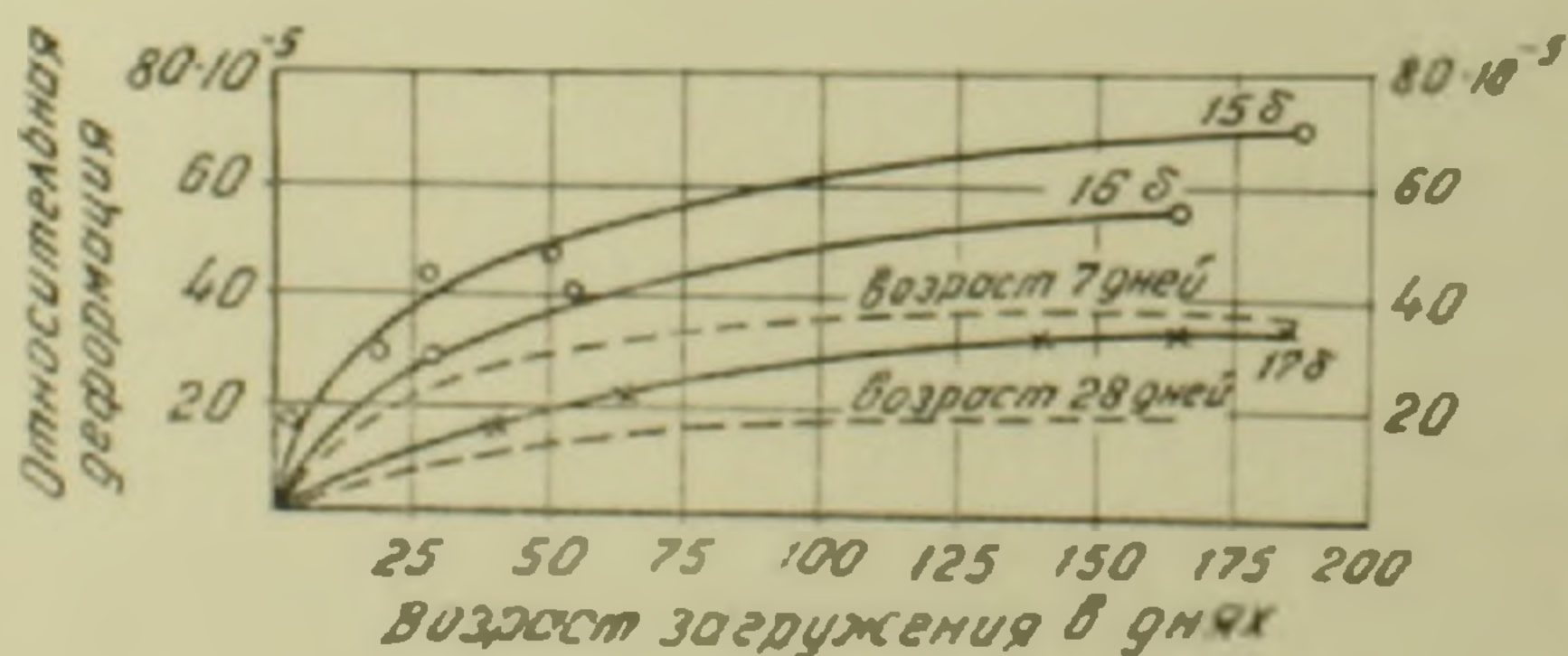
Результаты испытания железобетонных стоек под осевой и внецентренно-сжимающей кратковременно действующей силой представлены в табл. 3. Образец 11ж в отличие от остальных при возрасте бетона 1 сутки был нагружен осевой силой 17,2 т, а в возрасте 28 суток этот образец был нагружен силой равной 30 т, приложенной с эксцентриситетом $e=15 \text{ мм}$. После длительного нагружения образец был доведен до разрушения



Фиг. 1.

кратковременной нагрузкой.

Результаты длительного нагружения трех бетонных призм при осевом сжатии представлены на фиг. 2. Интенсивность сжимающего напряжения составляла 50 кг/см^2 . Возраст бетона одной призмы в момент нагружения составлял 7 дней, остальных — 28 дней. Сплошными линиями на фиг. 2 показаны полные относительные деформации бетона, в зависимости от длительности нагружения. Сплошной линией с



Фиг. 2.

крестиками показаны относительные усадочные деформации бетона. Пунктирные кривые, характеризующие ползучесть бетона, получены вычитанием из полных деформаций соответствующих усадочных деформаций.

В табл. 4 приведены значения мгновенных стрел прогибов, а также стрел прогибов при длительном нагружении железобетонных внецентренно-сжатых стоек.

Таблица 1

Вид образца	Вид испытания	Количество образцов	Размеры образца в см
Бетонные стойки	Определение усадки	2	
	Определение мгновенного модуля деформации и призмочной прочности при центральном сжатии	3	15 × 15 × 110 ($F_d = 15 \times 15 \text{ см}^2$)
	Центральное сжатие под длительной нагрузкой	2	
Бетонные кубики призм	Определение мгновенного модуля деформации и призмочной прочности при центральном сжатии	12	10 × 10 × 40 15 × 15 × 110
	Определение прочности бетона в различном возрасте	48	15 × 15 × 15 20 × 20 × 20
	Определение усадки	3	
Железобетонные стойки	Центральное сжатие под кратковременной нагрузкой до разрушения	5	
	Внецентренное сжатие под кратковременной нагрузкой до разрушения	3	15 × 15 × 110 ($F_d = 9,08 \text{ см}^2$ $F_b = 216 \text{ см}^2$)
	Центральное сжатие под длительной нагрузкой	2	
	Внецентренное сжатие под длительной нагрузкой	6	
	Определение стрел прогибов внецентренно-сжатых ж.-б. стоек при длительном нагружении	5	

В табл. 5 приведены мгновенные и полные относительные деформации жесткой арматуры внецентренно-сжатых железобетонных образцов при длительном нагружении сжимающей силой $P = 20 \text{ т}$, приложенной с эксцентриситетом.

В железобетонной стойке под действием осевой силы с течением времени происходит перераспределение усилий между арматурой и бетоном, при этом бетон разгружается, а арматура догружается.

Уравнение, позволяющее определить усилие в арматуре центрально-сжатой железобетонной стойки в любой момент времени t при $P = \text{const}$, имеет вид (1-2).

$$P_{at} = P_a(1 - \bar{\epsilon}_t), \quad (1)$$

где характеристика ползучести железобетонного сечения

$$\bar{\epsilon}_t = \frac{\epsilon_{at}}{\epsilon_a} = \frac{1}{\gamma} (1 - e^{-\frac{1}{\gamma} \epsilon_a t}); \quad (2)$$

Таблица 2

В о з р а с т б е т о н а в д н я х	1	2	3	7	14	28	210	240—300
Предел прочности на сжатие (кг/см^2) кубиков с размерами ребер 15 и 20 см	от 25 до 32	от 47 до 50	от 79 до 87	от 140 до 178	190	от 204 до 258	от 240 до 310	от 287 до 310
Средняя кубиковая прочность бетона кг/см^2 (R_k)	30	49	82	160	190	240	275	290
Предел прочности на сжатие бетонных призм кг/см^2 (R_n)	—	40	65	120	—	170	—	200
Модуль упругой (мгновенной) деформации бетона (E_b) кг/см^2	$\varepsilon = 25$	—	125000	250000	—	290000	—	—
	$\varepsilon = 50$	—	56000	225000	—	270000	—	370000
	$\varepsilon = 75$	—	—	190000	—	250000	—	360000

Таблица 3

Вид испытания	№№ образцов	Возраст бетона при испытаниях в днях	Средний предел прочности (кг/см^2) бетонных		Разрушающая нагрузка образца в тоннах		П р и м е ч а н и е
			кубиков (R_k)	призм (R_n)	опытная	по ф-лам НвТУ 123-55	
Центральное сжатие	4ж	2	49	40	33,0	33,1	До испытания стойка не загружалась
	1ж	3	82	65	38,0	38,5	То же
	13ж	28	240	170	58,6	61,0	То же
	5ж	270	290	200	63,8	67,5	То же
	11ж	270	290	200	60,0	67,5	Находилась под внеш. сжим. нагрузкой $P = 30 \text{ т}$
Внецентренное сжатие	21ж	28	240	170	47,0	48	До испытания стойка не загружалась
	6ж	280	290	250	51,0	53	То же
	2ж	300	290	250	52,0	53,0	В течение 200 дней находилась под внеш. сж. нагрузкой $P = 30 \text{ т}$

Таблица 4

Образец	Мгновенная стрела прогиба (мм)	Стрела прогиба ж. б. стоек (мм) при длительном внецентренном сжатии в днях		Примечание
		100	200	
2 ж	0,85	1,1	1,5	Мессуры устанавливались по середине высоты стоек и на расстоянии 1 см от торцов стоек (фиг. 3)
3 ж	0,88	1,48	1,92	
9 ж	1,6	2,08	2,28	
11 ж	—	2,35	—	
12 ж	0,80	1,32	—	

Таблица 5

№№ стоек	Мгновенная деформация $\times 10^2$		Относительная деформация арматуры $\leq 70^\circ$ при длительности нагружения в днях							
			50		100		150		200	
	ϵ_{at1}	ϵ_{at2}	ϵ_{at1}	ϵ_{at2}	ϵ_{at1}	ϵ_{at2}	ϵ_{at1}	ϵ_{at2}	ϵ_{at1}	ϵ_{at2}

А. Ползучесть + усадка

2 ж	52	18	35,0	13,0	59,0	15,0	72,0	15,0	75,0	15,0
3 ж	57	20	36,0	1,0	62,0	3,0	79,0	4,0	82,0	5,0
9 ж	75	11	54,0	2,0	86,0	3,0	92,0	3,0	94,0	3,0
11 ж	—	—	78,0	-6,0	86,0	-8,0	—	—	—	—
12 ж	54	22	45,0	8,0	63,0	10,0	72,0	10,0	—	—

Б. Ползучесть

2 ж	52	18	19,0	7,0	51,0	7,0	63,0	6,0	65,0	5,0
3 ж	57	20	30,0	-5,0	54,0	-5,0	71,0	-5,0	72,0	-5,0
9 ж	75	11	48,0	-3,0	78,0	-5,0	83,0	-6,0	84,0	-7,0
11 ж	—	—	72,0	0,0	78,0	0,0	—	—	—	—
12 ж	54	22	39,0	2,0	55,0	2,0	63,0	1,0	—	—

* Индексы 1 и 2 при ϵ показывают относительные деформации соответственно с вогнутой и выпуклой стороны внецентренно-сжатого стержня.

$$\xi = \gamma \left(1 - \frac{\gamma}{\delta \varphi_t} \cdot \ln \frac{1 + \gamma + \delta \varphi_t}{1 + \gamma} \right); \quad (3)$$

$$\gamma = \frac{E_a \cdot F_a}{E_b \cdot F_b}; \quad (4)$$

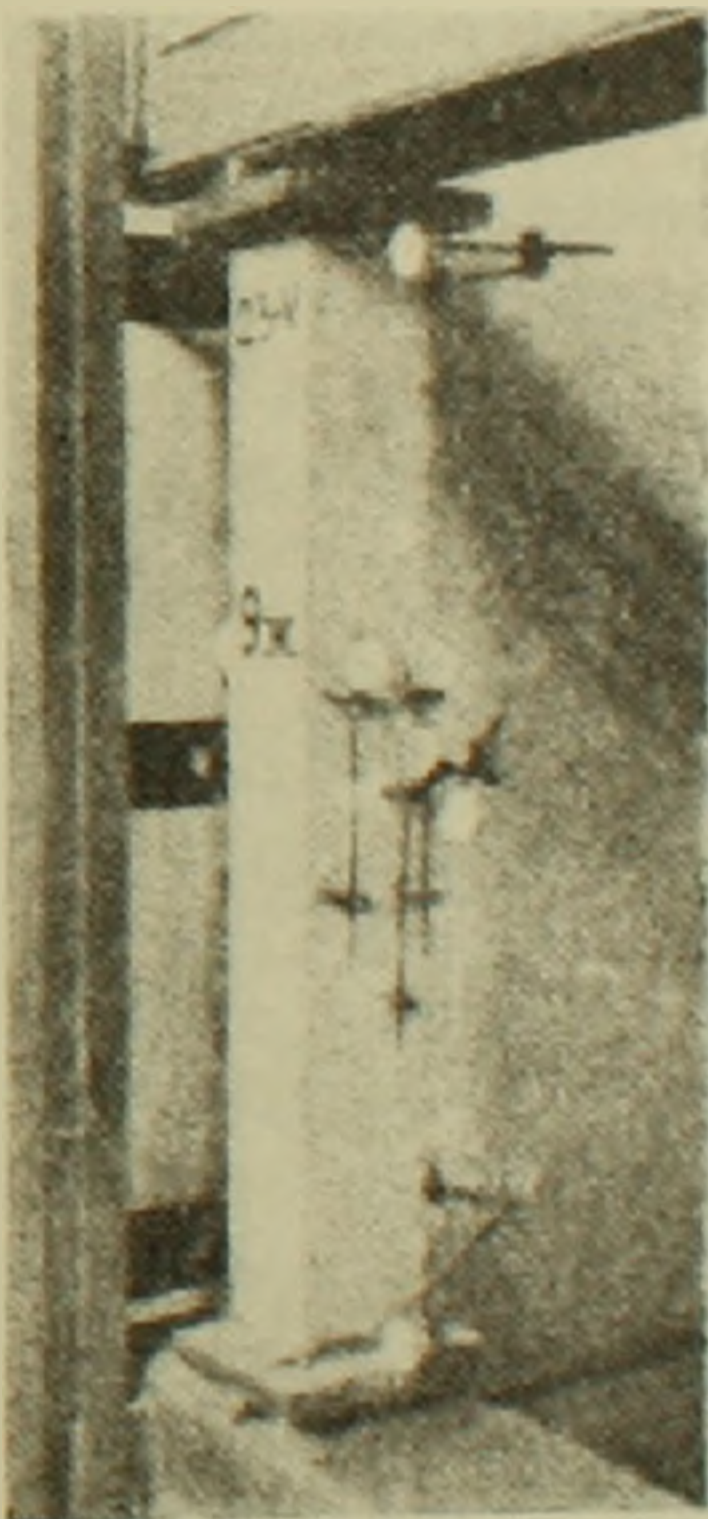
$$\delta = \frac{1}{\varphi_t} \left(\frac{E_{ot}}{E_b} - 1 \right) \approx \text{const.} \quad (5)$$

$P_a = \frac{\gamma P}{1 + \gamma}$ — усилие, воспринимаемое арматурой железобетонного сечения в момент нагружения стойки ($t = 0$);

F_a, F_b — площади поперечных сечений, соответственно арматуры и бетона;

E_a — модуль упругости арматурной стали;

E_b — модуль упругой (мгновенной) деформации бетона в момент нагружения стойки;



Фиг. 3.

E_{ct} — модуль упругой деформации бетона к произвольному моменту времени t ;

$\varepsilon_t = \frac{\Delta \varepsilon_t}{\varepsilon_0}$ — характеристика ползучести неармированного бетона к моменту времени t ;

ε_0 — относительная упругая (мгновенная) деформация неармированного бетона в момент загрузки;

ε_{ct} — относительная деформация ползучести неармированного бетона к моменту времени t ;

ε_a — относительная деформация арматуры в момент загрузки железобетонной стойки;

ε_{at} — относительная деформация арматуры в момент времени t .

В табл. 6 результаты опыта сопоставлены с расчетными данными.

Таблица 6

Длительность загрузки в днях (<i>t</i>)	Опытные величины					Расчетные величины	
	для неармированных призм ($\sigma = 50 \text{ кг/см}^2$)			для ж. б. стоек			
	$\bar{\varepsilon}_t$	$E_t \text{ кг/см}^2$	$\frac{E_t}{E_0}$	8ж	14ж	$\bar{\varepsilon}_t$	$\frac{P_{at}}{P_a}$
0	0.0	270,000	1	0.0	0.0	0.0	1
50	0.70	294,000*	1.09	0.55	0.42	0.51	1.51
100	0.97	317,000*	1.17	0.67	0.55	0.66	1.66
150	1.08	340,000*	1.26	0.72	0.58	0.73	1.73
240—300	—	370,000	1.37	—	—	—	—

* Вычислены линейной интерполяцией по опытным величинам для $t = 0$ и $t = 240 - 300$ дней.

В графах 2—4 табл. 6 приведены опытные величины, полученные в результате кратковременных и длительных испытаний неармированных бетонных стоек. В графах 5 и 6 табл. 6 приведены величины характеристик ползучести, полученных опытным путем для железобетонных стоек при осевом сжатии.

В последних двух графах табл. 6 приведены расчетные величины $\bar{\varepsilon}_t$ и P_{at}/P_a по формулам (1) и (2) при следующих параметрах, принятых в опытах:

$$P = 30m;$$

$$\bar{\varepsilon}_0 = \frac{2.010.000 \times 9,08}{270000 \times 216} = 0,31 \text{ — по формуле (4);}$$

$$\bar{\varepsilon}_0 = 0,18 \text{ — по формуле (5);}$$

$$\bar{\varepsilon}_0 = 0,24 \text{ — по формуле (3).}$$

Данные, приведенные в табл. 6, показывают, что в связи с ползучестью бетона усилие в арматуре центрально-сжатых железобетонных стоек увеличилось при длительности загрузки в 50 дней на 42—52% — по опыту и на 51% — по расчету; при длительности загрузки в 150 дней на 58—72% — по опыту и на 73% — по расчету.

На фиг. 4 показаны кривые перераспределения усилий между арматурой и бетоном для четырех внецентренно-сжатых железобетонных стоек при загрузке их в течении 200 дней.

Произведенные опыты показывают, что при кратковременном загрузке расчетные формулы ННТУ 123—55 находятся в полном согласии с опытными данными. Опыты показывают, что длительное загрузке коротких железобетонных стоек с жесткой арматурой силой, равной 0,5—0,6 от разрушающей, не влияет на длительную несущую способность стоек.

Прямыми измерениями установлено, что при нагрузке, равной половине разрушающей, во внецентренно-сжатых железобетонных стойках спустя 100—120 дней с момента загрузки наиболее сжатая арматура переходит в стадию пластических деформаций. При развитии метода расчета железобетонных стержней с учетом ползучести это обстоятельство должно быть принято во внимание.

Авторы выражают благодарность академику АН Армянской ССР Н. Х. Арутюняну за советы, данные им при выполнении этой работы.

Институт строительных материалов и сооружений

Լ. ՅԱՒԱՆԵՐ ԵՎ Վ. Վ. ՓԻՆԱՋՅԱՆ

ԼՆԵԿԱՐՔՐԵՑՈՒՆԵ ԿԻՐԵԿ ԿՐԱՆԳՈՒՍԿԻՆԵՐԻ, ՎԵՐԱԿԵՆՈՐՈՒՆ—ՍԵՂՄԱՆ ՎԵՐԱԿԱՆԻՐԻ ՎԵՐԱԿԱՆԻ ՍՈՊԻՒ ԿԱԳԵՑՈՐԻԱՆ ՓՈՐՃՈՒՄԻԱՆ ՈՍՈՒՄՆԱԽԻՐԱՐԻԱՆԵՐ

Հոդվածում բերված են երկարատև բեռնվածքի զեղբում կենտրոնական և արտակենտրոն սեղմված երկաթբետոնե կանգնակների աշխատանքի փորձնական ուսումնասիրության արդյունքները:

Աղյուսակ 1-ում տեղ գտած աղյուսակները բնորոշում են փորձնական աշխատանքների ծավալը: Բետոնի առաջնականությունը և աճությունը բնութագրող փորձնական մեծությունները, կախված նրա հասակից, բերված են աղյուսակ 2-ում: Բետոնե պրիզմաների կենտրոնական սեղման երկարատև բեռնվածքի զեղբում ստացված արդյունքները ներկայացված են նկ. 3-ի կորերով: Աղյուսակներ 4 և 5-ում արված են երկաթբետոնե նմուշների զեղբումացիաները՝ նրանց 7 աճյալ տեղում, բետոնի բեռնվածքի զեղբում: Նկար 6 ցույց է տալիս, որ ուժի ներգործության զեղբում ժամանակի ընթացքում բետոնի և աճանի միջև լարվածության վերաբերում է սեղի ունենում, ըստ որում բետոնը բեռնաթափվում է, իսկ աճանը լրացուցիչ բեռնվածքում է մեծը բերում: Վերջինից բետոնը բաժանարար հշտությունը կարելի է հաշվի առնել (1)-(3) բանաձևերի աղյուսակում:

Փորձերը ցույց են տալիս, որ կանգնակների երկարատև բեռնվածքում չի ազդում նրանց կրող-կանությունը վրա, եթե ազգող ուժը համապատասխան է կանգնակի բաժանարար ուժի

0,3 0,5 մեծությամբ: Այդպիսի ուժի ազդեցության տակ բեռնավորման մոմենտից 100-120 քր հեռու արտակենտրոն աեղձված կանգնակներին մեկին աճելի աեղձված աճքան, անցնում է պլաստիկ-կան դեֆորմացիայի աադիային:

Л И Т Е Р А Т У Р А — Կ Ր Ա Կ Լ Ա Ն Ո Ւ Ք Յ ՈՒ Ն

Փ. Հումաշը, Elastisch und plastische Verformungen der Eisenbetontragwerke und insbesondere der Bogenbrücken. „Bauingenieur“, II. 56, 21/22, 31/32, 47/48, 1948.
Մ. Մ. Մալցկոյ, Расчет бетонных и железобетонных арочных и комбинированных конструкций с учетом длительных процессов. Гостехиздат Украины, 1950.