

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

А. Б. ПИРАДОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХОСНО ПРЕДВАРИТЕЛЬНО
 НАПРЯЖЕННЫХ ОБРАЗЦОВ НА ОСЕВОЕ РАСТЯЖЕНИЕ

Трехосное предварительное напряжение раскрывает возможности в отношении уменьшения собственного веса конструкций за счет увеличения их несущей способности при относительно небольших деформациях в упругой стадии их работы [1, 2]. Прочность элементов такого типа изучалась преимущественно на центральное сжатие [3, 4, 5, 6]. Между тем такие конструкции могут быть с успехом использованы в растянутых элементах большепролетных сооружений, что существенно сократит расход металла и бетона.

В центральной лаборатории заводской технологии Научно-исследовательского института бетона и железобетона АСИА СССР (НИИЖБ) под руководством проф. В. В. Михайлова и течение ряда лет проводятся исследования трехосно предварительно напряженного железобетона. Данное исследование проведено автором статьи в этой лаборатории.

Исследования проводились на цилиндрических образцах длиной 150 см диаметром 14,5 см (рис. 1). Продольное обжатие создава-

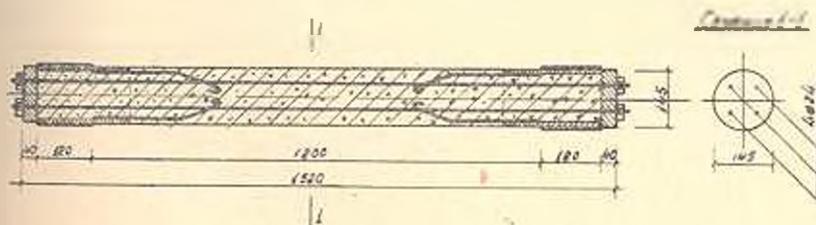


Рис. 1. Конструкция опытного образца.

лось четырьмя стержнями, диаметром 24 мм из стали марки 10 X ($E_s = 5000 \text{ кг/см}^2$, $R_s = 8300 \text{ кг/см}^2$), поперечное — спиралью из высокопрочной проволоки ($R_w = 19000 \text{ кг/см}^2$) диаметром 3 мм с шагом намотки 13 мм.

Предварительное напряжение создавалось после бетонирования. Образцы изготовлялись из бетона марки „600“ в металлической опалубке. Для предотвращения сцепления с бетоном стержни перед бетонированием были смазаны маслом и обернуты калькой.

Прочностные характеристики бетона определялись на кубиках с размерами $10 \times 10 \times 10 \text{ см}$ и восьмерках сечением $7 \times 7 \text{ см}$ с призматиче-

ческой частью высотой 66 см. Составы бетона, а также результаты испытания кубиков и восьмерок указаны в табл. 1.

На восьмерках определялась также деформативность бетона на растяжение тензодатчиками с базой 50 мм, которые наклеивались в поперечном сечении в трех местах по высоте средней части. Предварительное напряжение в продольной арматуре принималось $\approx 0,90 \sigma_{\text{н}}$, в поперечной арматуре $0,65 R_{\text{н}}^{\text{II}}$. На специальной установке были определены потери предварительного напряжения в арматуре от обжатия шайб, закрепляющих арматурный стержень в напряженном состоянии, и релаксация напряжения. Потери от обоих факторов для четырех стержней составили 14300 кг. Потери от усадки и ползучести, согласно работам Г. А. Гамбарова [4], могут быть приняты равными: от усадки бетона $3 \cdot 10^{-5}$, от ползучести $32 \cdot 10^{-5}$ спустя 15 суток после предварительного напряжения образцов. Следовательно, величина потерь от усадки и ползучести составляла 14300 кг. Суммарная величина всех потерь на образец составляла 28600 кг.

Испытание образцов на растяжение проводилось на 300-тонной горизонтальной испытательной машине. Для закрепления образца в прессе на концах образцов были забетонированы муфты с нарезкой, на которые навинчивались специальные приспособления, закрепляемые в захватах прессы (рис. 2). Закрепленный таким образом образец

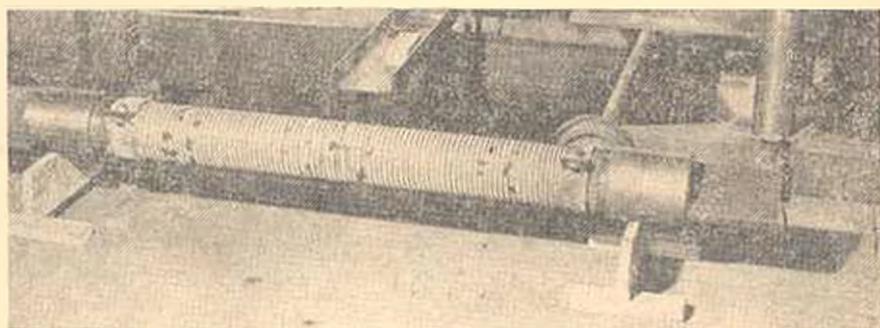


Рис. 2. Образец с приспособлениями для закрепления в прессе.

(рис. 3) подвергался растяжению на первых этапах ступенями в 10 т (68 кг/см^2), а на последующих — 5 т (34 кг/см^2) вплоть до разрушения. На каждом этапе деформации замерялись: продольные — с помощью индикаторов с ценой деления 0,01 мм на базе 570 мм, а так же — рычажными тензодатчиками на базе 100 мм; поперечные — датчиками сопротивления. Последние наклеивались на бетон и на спиральную арматуру.

На рис. 4 показаны продольные деформации, измеренные индикаторами, а также усредненные поперечные деформации в зависимости от величины растягивающего усилия. Результаты испытания представлены в табл. 2. Как видно из табл. 2, продольное предваритель-

Таблица 1

Характеристики контрольных бетонных образцов

Состав бетона	Наименование образцов	Прочность бетона на 28 день		Прочность бетона на день испытания		Примечание
		кубики 10-10×10 см	пересчитанная прочность для кубиков 20×20×20 см	прочность в биках 10-10×10 см или восьмерки	пересчитанная прочность для кубиков 20×20×20 см	
Состав А: Белгородский цемент активностью 573 кг/см ³ (565 кг); Песок с модулем крупности 1,8 (565 кг); Щебень известковый, крупн. 5-20 мм (1130 кг). Вода—194 литра	кубики	573 560 (Ср. 595) 450	524	611 854 (Ср. 664) 601 725 617 577	585	Удобноукладываемость бетона обоих составов определялась техническим инкозиметром.
	восьмерки 7-7×66			35,6 41,2 (Ср. 36,1) 33,0		
Состав В: Цемент Брянский, активностью 583 кг/см ³ (575 кг); Песок — с модулем крупности 1,8 (565 кг) Щебень известковый, крупн. 5-20 мм (1170 кг); Вода—147 литра	кубики	740 721 (Ср. 718) 691	632	766 945 (Ср. 825) 802	725	
	восьмерки 7-7×66			31,7 34,1 (Ср. 33,2)		

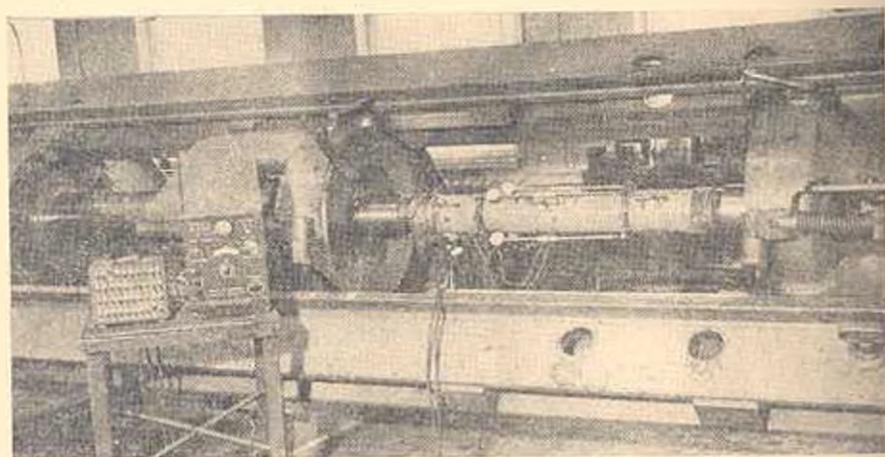


Рис. 3. Общий вид образца с измерительными приборами в горизонтальной испытательной машине.

ное напряжение образцов превышает величину призменной прочности, что при отсутствии спирального армирования вызвало бы разрушение элемента. После испытания спираль удалялась с элементов.

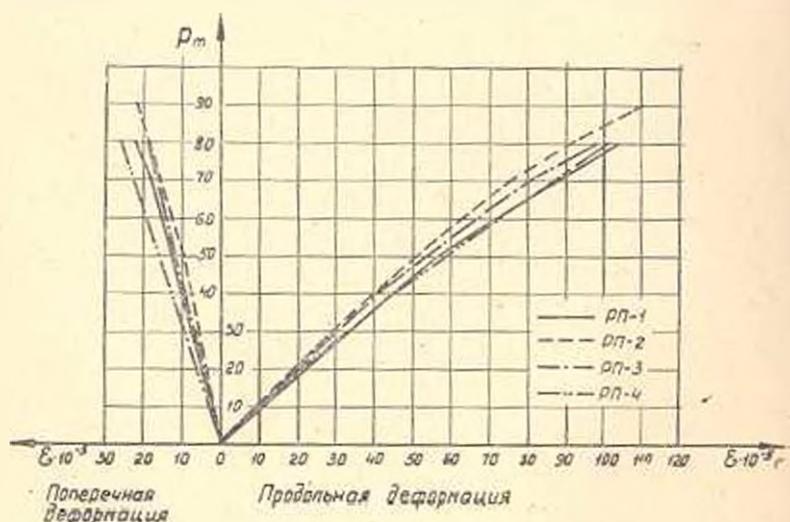


Рис. 4. Кривые продольных и поперечных деформаций образцов.

образец подвергался внешнему осмотру. Кроме разрушения в местах разрывов нарушение структуры нигде не было обнаружено.

По показаниям измерительных приборов нарастание деформации растяжения по длине образца происходило с различной интенсивностью. В местах максимальных деформаций образовывались трещины, по которым в дальнейшем и разрушались образцы.

Таблица 2

Результаты испытания предварительно напряженных железобетонных образцов на центральное растяжение

Марка образцов	Предварительное напряжение образцов							Появление трещин под нагрузкой							Разрушающая нагрузка, численная по пределу прочности кг	Примечание
	В момент создания предварительного напряжения				Установившееся предварительное напряжение			Усилия				Деформации 10^{-5}				
	Усилие		Деформация 10^{-5}		Усилие		Деформация* 10^{-5}	сила кг	усилие воспринятое арматурой кг	усилие воспринятое бетоном кг	напряжение при растяжении кг/см ²	продольные	поперечные			
	сила кг	напряжение кг/см ²	продольная	поперечная	сила кг	напряжение кг/см ²								продольная		
P11-1	81000	550	111	20	52000	353	76	80000	76000	4000	27,2	103	22	160000	Бетон состава А	
P11-2	85500	582	126	26	56500	381	91	83000	84000	6000	40,8	110	23	160000		
P11-3	75000	508	116	17	46400	315	81	80000	75000	5000	31,0	98	19	160000	Бетон состава Б	
P11-4	75000	508	118	27	46400	315	83	80000	76000	1000	27,2	100	26	160000		

* Деформации потерь под шайбами не учитывались, так как они измерялись после передачи усилия на шайбы.

Деформации растяжения бетона, как уже отмечалось выше, измерялись на бетонных восьмерках. Предельные деформации образцов замерить не удалось, так как разрыв происходил в сечении, где не было установлено приборов. По замеренным продольным деформациям грехосно предварительно напряженных образцов растяжимость бетона составляла $(17-27) \cdot 10^{-3}$, что, как и следовало ожидать, соответствует средней растяжимости, полученной на бетонных восьмерках. Как видно из соответствующей графы табл. 2, бетон воспринимал растягивающие напряжения $27,2-40,8 \text{ кг/см}^2$, что находится в пределах величин, полученных при испытании бетонных восьмерок. Разброс составляет от -21 до $+24\%$.

Картина распределения усилий в бетоне и арматуре трехосно предварительно напряженного образца при продольном растяжении представлена на рис. 5. На оси $P_{\text{вн}}$, отложено усилие предваритель-

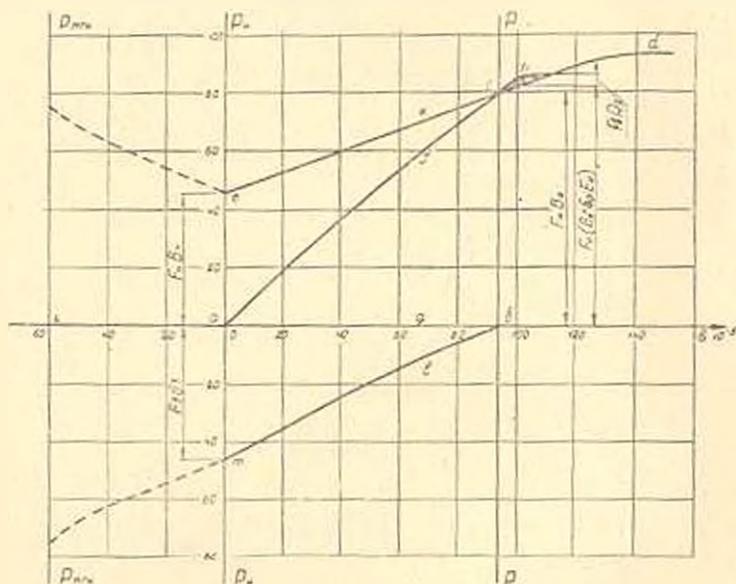


Рис. 5. Кривые распределения усилий в образце РН-3.

ного напряжения арматуры и сжатие бетона до появления потерь предварительного напряжения. Усилие, действующее в арматуре и бетоне после всех потерь предварительного напряжения перед приложением внешней нагрузки, отложено по оси $P_{\text{вн}}$.

За начальное состояние удобно принимать такое сочетание внешних усилий, когда в бетоне имеется нулевое напряжение, показанное на графике линией $P - P$. Эту ось и назовем главной осью координат. В этом состоянии все усилие предварительного напряжения элемента, действующее в арматуре, уравновешивается внешней силой $P = F_1 \cdot z_0$. При удалении внешней силы происходит уменьшение величины предварительного напряжения до величины $P_{\text{вн}} = F_1 \cdot z_0$ при этом сжимающее напряжение в бетоне равно $F_1 \cdot z_0$.

При отсутствии внешней растягивающей силы, усилие растяжения в арматуре уравнивается усилием сжатого бетона. При приложении к элементу растягивающей силы усилие в арматуре увеличивается по прямой ec , а в бетоне убывает по ac . Нетрудно видеть, что линия ec более пологая, чем ac , следовательно, уменьшение усилия в бетоне происходит более быстро, чем увеличение напряжения в арматуре. В любой точке нагрузки P_f , вызывающей деформацию ag , внешнее усилие воспринимаемое арматурой за вычетом усилия в бетоне

$$P_f = gf + fk - gf$$

В виду равенства $fk = gf$, имеем

$$P_f = gf,$$

т. е. в период разгрузки элемента от предварительного напряжения вся внешняя сила P_f воспринимается полностью предварительно напряженной арматурой. Как видно из графика, восприятие внешней нагрузки на участке ac происходит по более крутому наклону, по сравнению с наклоном ec , характеризующим работу арматуры. Тангенс угла наклона прямой ac проф. В. В. Михайловым назван модулем восприятия нагрузки или условным модулем упругости.

Нагрузка при трещинообразовании будет равна:

$$P_t = F_n (\sigma_n - \varepsilon_p \cdot E_n) + F_p \cdot R_p$$

и соответствующая относительная деформация

$$\varepsilon = \varepsilon_n + \varepsilon_p = \frac{\sigma}{E_{uc}} + \varepsilon_p.$$

После разгрузки бетона вплоть до разрушения вся внешняя сила воспринимается только арматурой при больших деформациях и интенсивном раскрытии трещин.

Результаты испытания показывают, что при сообщении бетону предварительного обжатия, значительно превышающего его призменную прочность заметных структурных изменений бетона не происходит, а поперечное обжатие спиралью не повышает сопротивляемости бетона продольному растяжению. Тем самым подтверждается эффективность предварительного трехосного обжатия бетона в растянутых железобетонных элементах.

Армянский НИИ

строительных материалов и сооружений

Поступило 19.IV. 1962

Ա. Ռ. ՊՐԿՐԻՍ

ՈՍՍՈՒՆՅՔ ԵՍՏՆԱՄԱՐՈՒՄՆ ԵՄՈՒՇՆԵՐԻ ԱՌԱՆՅՔԱՅԻՆ ՉԿՄԱՆ
ՈՒՍՈՒՄ ԵՍՏՆԻՐՈՒԹՅԱՆԵՐ

Ս. Վ Փ Ո Փ Ո Վ

Ուսումնասիրությունը կատարված է 14,5 սմ արամադով և 150 սմ երկարությամբ ունեցող բետոնե զլանալին նմուշների վրա երկաթնալարե սեղ-

մամբ սահմանվում է 40% մարկաչի պողպատե 24 մմ տրամագիծ սենյուղ շորս ձուցերի սցնաթիվով: Կնդրաճանաչան սեղմումը՝ 3 մմ տրամագիծ սենյուղ բարձրամուր ($R^m = 19\ 000$ կգ սմ²) լարի պարուրով, սրի փաթեռլի շապր 13 մմ է:

Ստատիստիկական արդյունքները ցույց են տալիս, որ բևտնում նախապես լարվածութլան սահգծումը, երբ անգամ վերջինս անցնում է բևտնի պրիպտարական ամրութլանից, բևտնի սարակտուրալի մեջ ստանձնակի փոփոխութլան չի մտցնում, իսկ պարուրի միջոցով բնգլախակ սեղմումը չի պակասեցնում բևտնի ձգման ամրութլանը: Այսպիսով հաստատվում է, որ երկաթբևտնն ձգվող էլեմենտներում բևտնի հատանցը նախալարվածութլան սահգծումը էֆեկտիվ եղանակ է:

Ցույց է տրվում, որ նախապես լարվածութլան զեպրում ամրանր միկն բևտնի բևտնաթախման սանձանը իր վրա է վիպնում բևտն ախպիսի չափ, որը համապատասխանում է պողպատի ստանձնականութլան պարանական մոդուլի սրենքին:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В. В. Михайлов, Г. А. Гамбаров. Трехосно предварительно напряженные железобетонные элементы и область их применения в строительстве. Известия АСНА СССР, № 3, 1961.
2. Г. А. Гамбаров. Исследование спирально армированных предварительно напряженных элементов для сборных стержневых конструкций Тр. НИИЖБ АСНА СССР, вып. 27, 1962.
3. О. Н. Алпорина. Исследование сжатых железобетонных элементов с поперечным армированием. Тр. ВНИИ транспортного строительства, Вып. 36, М., 1960.
4. Г. А. Гамбаров. Центральнo сжатые спирально армированные предварительно напряженные элементы. Журн. «Бетон и железобетон», № 1, 1961.
5. Ф. Е. Гитман. Исследование цилиндрических колонн с предварительно напряженной спиральной арматурой. Тр. НИИЖБ, вып. 3, М., 1958.
6. В. И. Карпинский. Бетон и предварительно напряженной спиральной обойме. Орг. транспорт. М., 1961.