

Р. А. КОТИКЯН

### ВЛИЯНИЕ ВОЗРАСТА БЕТОНА НА ЕГО ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ ПРИ ВНУТРЕННЕМ ДАВЛЕНИИ С ПОСЛЕДУЮЩИМ РАСТЯЖЕНИЕМ

В работе [2] приведены результаты исследования прочности и деформативности бетона в зависимости от его возраста при сложно-напряженном состоянии — сжатие с последующим кручением. Установлено, что как при указанном виде сложного нагружения, так и при чистом кручении возраст бетона к моменту испытания не оказывает влияния на зависимость  $\sigma_1 - \varepsilon_1$ , если образцы до испытания хранились в обычных температурно-влажностных условиях. Проведенные исследования дали возможность также установить связь для перехода от простого к сложному напряженному состоянию.

В настоящей работе, которая была выполнена в Институте математики и механики АН АрмССР под руководством канд. техн. наук К. С. Карапетяна, приводятся результаты аналогичных исследований при другом сложно-напряженном состоянии — внутреннем давлении с последующим растяжением с учетом фактора старения. Одновременно изучена анизотропия бетона при двухосном растяжении в зависимости от возраста бетона.

Испытания проводились на полых цилиндрических образцах. Размеры и методика изготовления образцов подробно описаны в работе [3]. Бетон приготавливался на портуландцементе марки „500“ Араратского завода. Всего было изготовлено четыре замеса бетона по 18 образцов из каждого замеса. Состав бетона приводится в табл. 1.

Таблица 1

Номер замеса	Состав бетона по весу	Расход материала на 1 м <sup>3</sup>			Объемный вес бетона $\gamma$ в кг/см <sup>3</sup>
		цемент	песок	вода	
1, 2, 3, 4	1:2.07	608	1260	380	2.25

Образцы до испытания хранились в обычных лабораторных условиях при температуре  $T = 22^\circ \pm 5^\circ\text{C}$  и относительной влажности среды  $P = 80 \pm 14\%$ .

При испытании трубчатых образцов на сложное напряженное состояние для каждого образца предварительно создавалось определенное постоянное внутреннее давление, а затем образец доводился до разрушения растяжением. Внутреннее давление и растягивающая нагрузка

прикладывались ступенями. После каждой ступени нагрузки измерялись продольные и поперечные деформации. Величины предварительного внутреннего давления составляли 0,45, 0,70, 0,95 атмосфер. Методика создания внутреннего давления подробно описана в работе [3]. Растяжение труб осуществлялось с помощью 50-тонного пресса.

Напряжение от внутреннего давления определялось по формулам

$$\sigma_{yy} = \frac{pr^2}{R^2 - r^2} \left( 1 + \frac{R^2}{r^2} \right) \quad (1)$$

$$\sigma_{zz} = \frac{pr^2}{R^2 - r^2} \left( 1 - \frac{R^2}{r^2} \right) \quad (2)$$

В указанных формулах  $R$ ,  $r$  и  $r$  представляют соответственно наружный, средний и внутренний радиусы поперечного сечения образца,  $p$  — внутреннее давление в  $\text{кг/см}^2$ .

Продольные деформации труб измерялись по четырем образующим на базе 250 мм, а деформации от внутреннего давления — в среднем сечении труб по двум взаимно перпендикулярным диаметральному направлениям.

Интенсивности напряжений и деформаций определялись по формулам

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + (\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 + (\sigma_{zz} - \sigma_{xx})^2} \quad (3)$$

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy})^2 + \varepsilon_{xx}^2 + \varepsilon_{yy}^2} \quad (4)$$

Помимо испытаний бетонных трубчатых образцов на сложно-напряженное состояние, для определения предела прочности бетона на растяжение ( $R_{xx}$ ) и на внутреннее давление ( $R_{yy}$ ), а также для определения деформаций испытывались образцы на чистое растяжение и на внутреннее давление.

В табл. 2 приведены кубиковые прочности, а также прочностные показатели опытных образцов на чистое растяжение и внутреннее давление.

Таблица 2

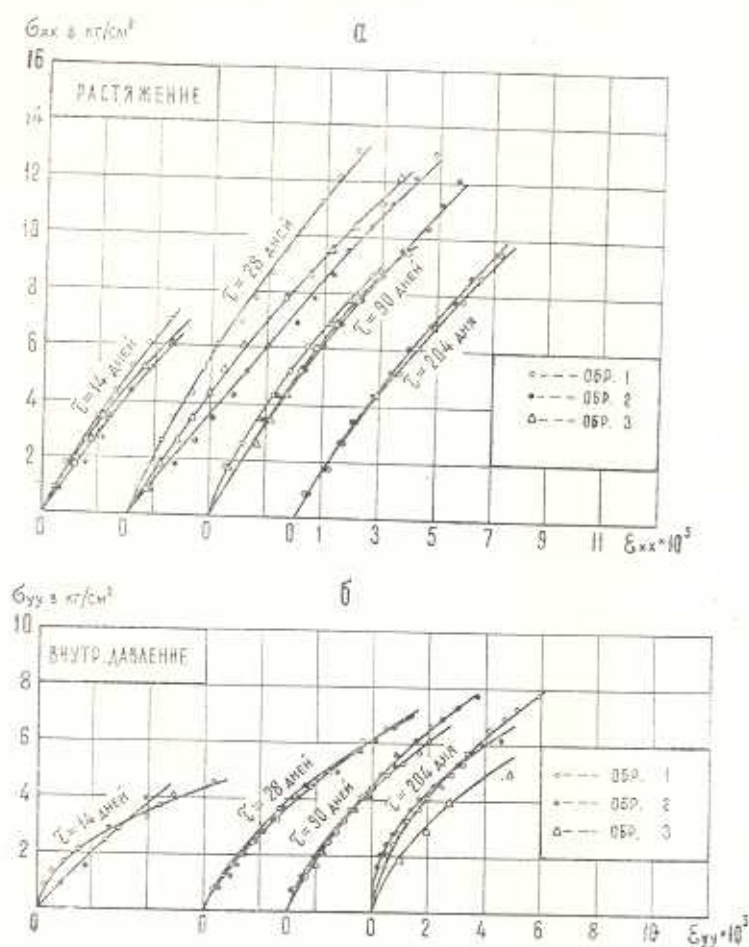
Прочность в $\text{кг/см}^2$	Возраст бетона в днях			
	14	28	90	204
$R_c$	175	196	199	198
$R_{xx}$	7,21	13,85	11,20	10,63
$R_{yy}$	5,03	7,33	8,68	7,91

На фиг. 1а и 1б приведены экспериментальные кривые деформаций трубчатых образцов при чистом растяжении и внутреннем давлении для различных возрастов. Как видно из фиг. 1а, возраст бе-

тона к моменту испытания не оказывает влияния на деформации бетона при растяжении. Учитывая это обстоятельство, стало возможным кривые деформаций всех возрастов описать одной и той же зависимостью

$$\varepsilon_{xx} = A\sigma_{xx} + B\sigma_{xx}^n \quad (5)$$

где  $A$ ,  $B$  и  $n$  — параметры, определяемые из опыта.



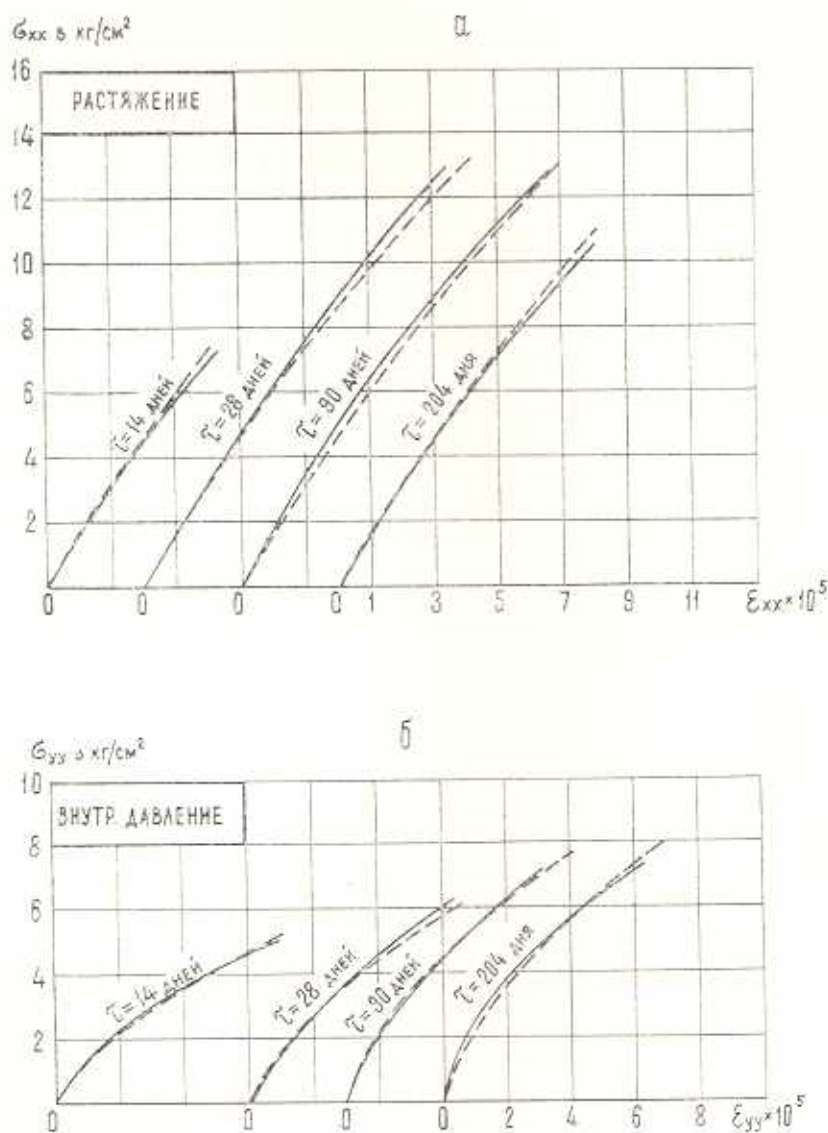
Фиг. 1.

В результате описания кривых деформаций чистого растяжения получены следующие значения указанных параметров

$$\left. \begin{aligned} 10^5 A &= 0.595 \frac{\text{см}^2}{\text{кг}} \\ 10^5 B &= 0.013 \frac{\text{см}^2}{\text{кг}^2} \\ n &= 2 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$



Как видно из фиг. 2а, где сплошными линиями показаны экспериментальные, а пунктирами — теоретические кривые, зависимость (5) хорошо описывает опытные кривые.



Фиг. 2.

Таким образом, при хранении бетона в обычных лабораторных условиях возраст бетона не оказывает влияния на деформации растяжения.

Рассмотрим кривые деформаций бетонных трубчатых образцов при внутреннем давлении. Из фиг. 1б видно, что влияние возраста бетона на деформации в этом случае существенно. Учитывая это, для описания кривых деформаций была принята зависимость

$$\varepsilon_{yy} = \varphi(\tau) (A_1 \sigma_{yy} + B_1 \sigma_{yy}^n) \quad (7)$$

где функция старения  $\varphi(\tau)$  выражается следующей формулой [1]:

$$\varphi(\tau) = C_0 + \frac{\alpha}{\tau} \quad (8)$$

а  $A_1$ ,  $B_1$ ,  $n$ ,  $C_0$  и  $\alpha$  — параметры, определяемые из опыта.

На основании наших экспериментальных данных получены следующие значения опытных параметров:

$$\begin{aligned} 10^5 A_1 &= 0.140 \frac{\text{см}^2}{\text{кг}} \\ 10^5 B_1 &= 0.027 \frac{\text{см}^4}{\text{кг}^2} \\ n &= 2 \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} C_0 &= 2.26 \\ \alpha &= 35.30 \text{ дн} \end{aligned} \quad (10)$$

На фиг. 26 сплошными линиями показаны экспериментальные, а пунктирами — теоретические кривые. Как видим, формула (7) хорошо аппроксимирует опытные кривые, соответствующие различным возрастам бетона к моменту испытания.

Как известно, бетон является анизотропным материалом и влияние анизотропии на прочность, деформативность и ползучесть бетона весьма существенно [4, 5]. Исследования К. С. Карапетяна показали, что прочностные и деформативные свойства одного и того же бетона по испытаниям перпендикулярно и параллельно слоям бетонирования, в зависимости от разных факторов, могут существенно отличаться. При этом влияние анизотропии при растяжении более существенно, чем при сжатии [6].

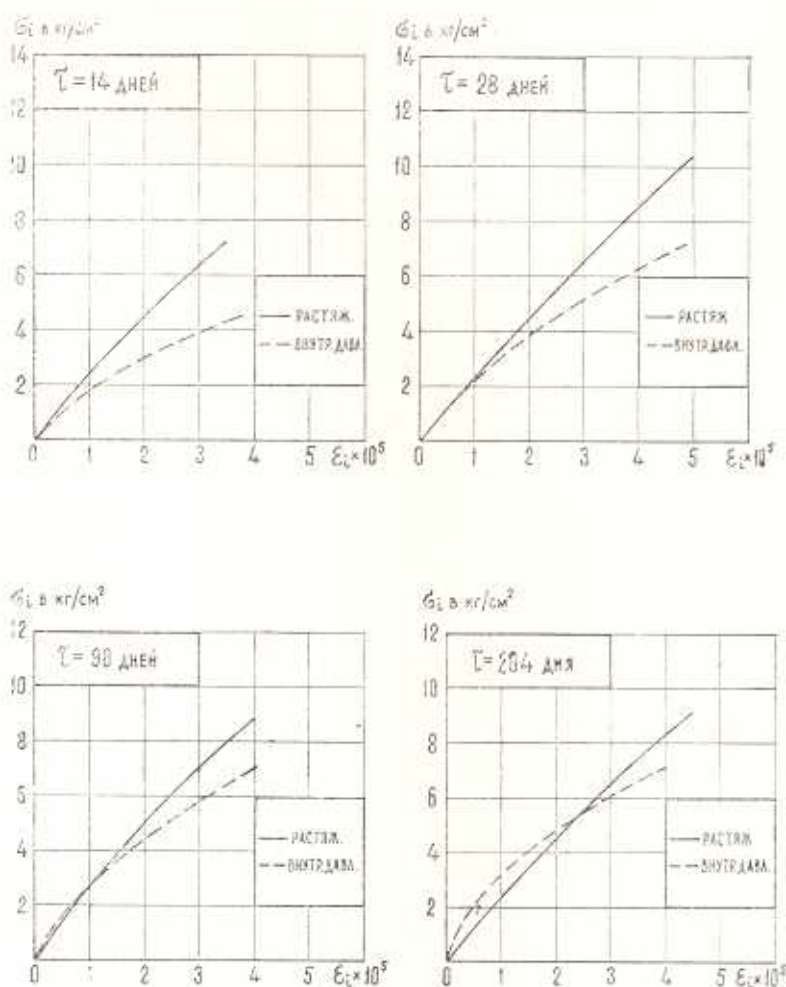
Поскольку в бетонных трубчатых образцах от внутреннего давления возникают растягивающие напряжения в тангенциальном направлении (по направлению оси  $Y$ ), деформации осевого растяжения и внутреннего давления представляют собой растягивающие деформации в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Рассмотрим наши опытные данные с точки зрения анизотропии.

На фиг. 3 приведены экспериментальные кривые интенсивностей деформаций бетона при растяжении и внутреннем давлении в различных возрастах бетона к моменту испытания.

Как видим, кривые деформаций растяжения в двух взаимно перпендикулярных направлениях не совпадают, что является следствием анизотропии бетона. Однако, как показывают данные табл. 3, влияние анизотропии в большой мере зависит от величины напряжения.

При возрастах бетона  $\tau = 28$  и 90 дней до относительного напряжения 0.5 анизотропия не наблюдается. Когда образцы испыты-

ваются в возрастах от  $\tau = 14$  дней до  $\tau = 90$  дней с дальнейшим повышением относительного напряжения, деформации труб от внутреннего давления получают больше деформаций от чистого растяжения. В случае  $\tau = 204$  дня наблюдается обратное явление.



Фиг. 3.

Необходимо указать, что отмеченные здесь явления, связанные с анизотропией бетона, относятся к случаю, когда образцы хранятся в обычных температурно-влажностных условиях.

Перейдем к рассмотрению результатов исследований на сложно-напряженное состояние — внутреннее давление с последующим растяжением.

В табл. 4 приведены прочностные показатели бетонных цилиндрических оболочек при сложном нагружении. Как видим, прочность бетона при сложно-напряженном состоянии до месячного возраста независимо от величины внутреннего давления возрастает, а в дальнейшем наблюдается значительный спад прочности бетона во вре-



мени. Такое явление неоднократно наблюдал в своих опытах К. С. Карапетян при хранении бетонных образцов в обычных температурно-влажностных условиях [7]. Указанное явление он объясняет низкой влажностью среды, благодаря чему бетон быстро высыхает и оставшаяся вода недостаточна для нормального твердения.

Таблица 3

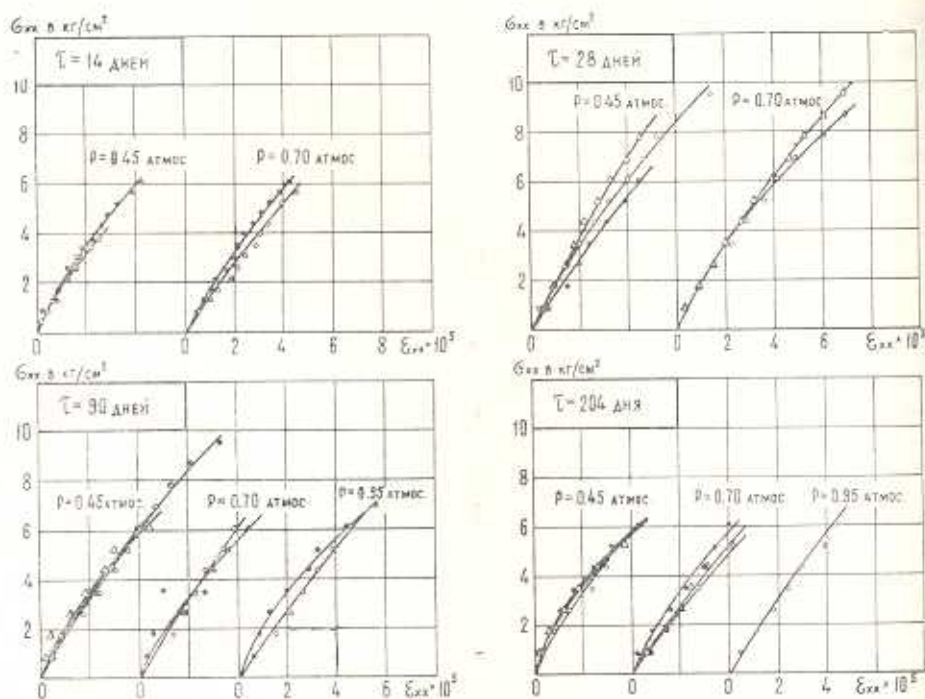
Относительное напряжение $\frac{\sigma_{yy}}{R_{yy}}$	$10^3 \sigma_y$															
	τ = 14 дней				τ = 28 дней				τ = 90 дней				τ = 204 дней			
	растяж.	внутр. давл.	внутр. давл.	растяж.	растяж.	внутр. давл.	внутр. давл.	растяж.	растяж.	внутр. давл.	внутр. давл.	растяж.	растяж.	внутр. давл.	внутр. давл.	растяж.
0.2	0.45	0.50	1.11	0.62	0.65	1.05	0.62	0.52	0.84	0.55	0.40	0.73				
0.4	0.85	1.25	1.47	1.25	1.40	1.12	1.30	1.45	1.12	1.25	1.05	0.84				
0.5	1.05	1.57	1.50	1.60	1.85	1.16	1.70	1.95	1.15	1.70	1.50	0.88				
0.6	1.30	2.00	1.54	1.95	2.40	1.23	2.10	2.55	1.21	2.10	2.00	0.95				
0.8	1.75	3.11	1.79	2.68	3.60	1.34	2.95	3.95	1.34	2.90	3.20	1.10				

Таблица 4

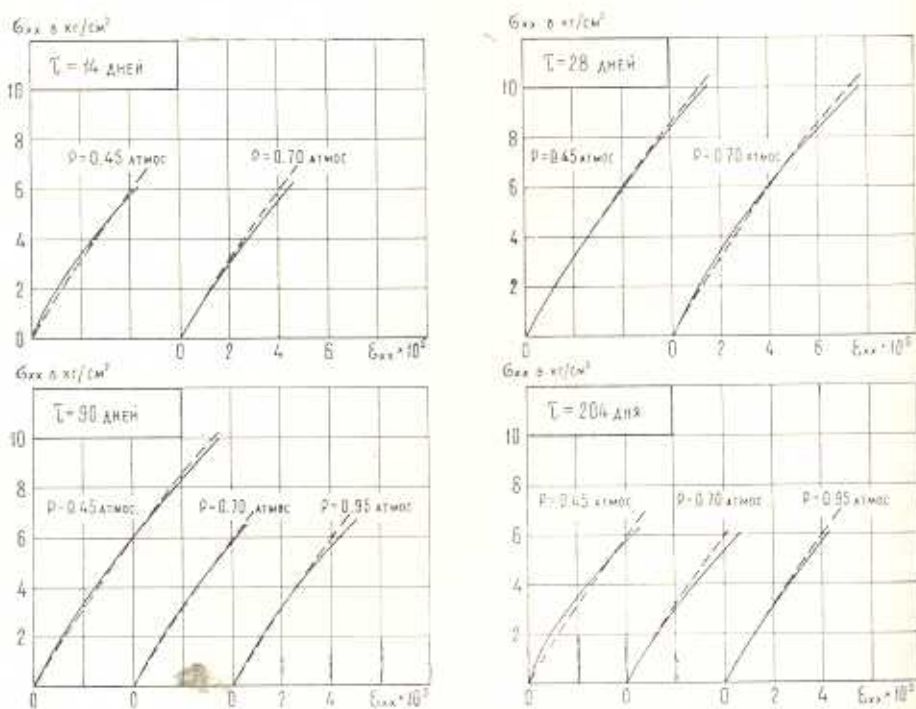
Возраст бетона в днях	$R_{cc}$ в кг/см <sup>2</sup>		
	$p=0.45$ атм	$p=0.70$ атм	$p=0.95$ атм
14	6.90	6.26	—
28	9.30	9.90	—
90	8.76	6.40	6.83
204	6.15	6.25	7.16

В наших опытах, помимо низкой влажности среды, быстрому высыханию образцов способствовала их тонкостенность.

На фиг. 4 приведены экспериментальные кривые деформаций бетонных трубчатых образцов для второго этапа нагружения (растяжения) в различных возрастах бетона к моменту испытания. Рассмотрение этих кривых показывает, что начальное внутреннее давление, независимо от возраста бетона к моменту испытания, не оказывает влияния на вид кривых деформаций сложно-напряженного состояния. Кроме этого, кривые деформаций сложно-напряженного состояния фактически совпадают с кривыми деформаций простого напряженного состояния-чистого растяжения. Следовательно, формулы (5) и (6) применимы для описания кривых деформаций второго этапа нагружения. Сказанное хорошо видно из фиг. 5, где сплошными линиями показаны средние экспериментальные кривые, а пунктирами — кривые, построенные по формулам (5) и (6). Как видим, теоретическая кривая с достаточной точностью аппроксимирует экспериментальные кривые сложно-напряженного состояния в различных возрастах бетона к моменту испытания.



Фиг. 4.



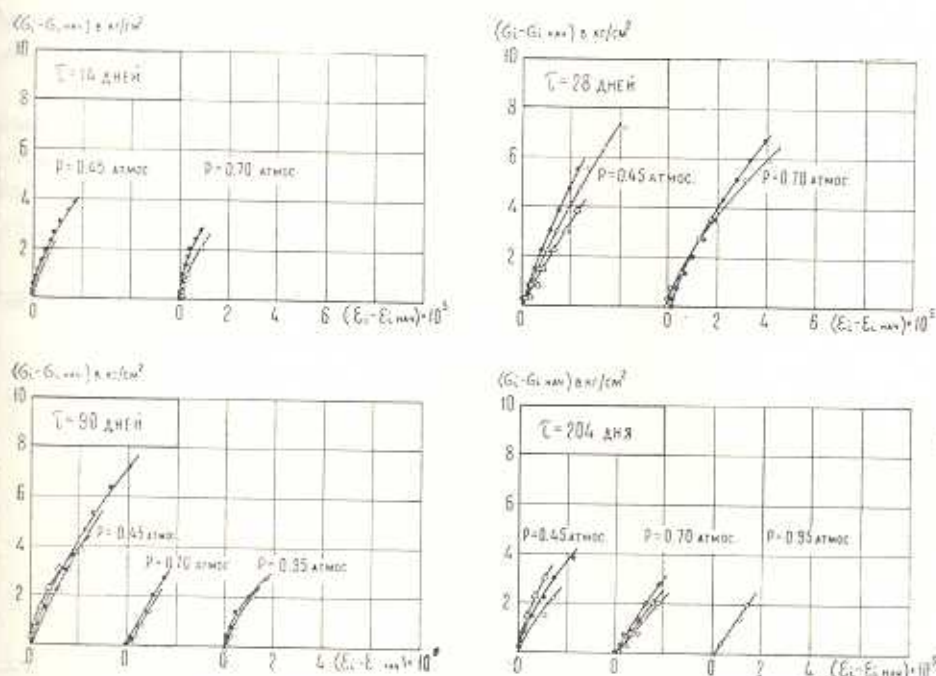
Фиг. 5.



Таблица 5

Возраст бетона в днях	Модуль деформаций бетона в $\text{тн}/\text{см}^2$									
	при растяжении					при внутреннем давлении				
	$\sigma_{xx}=0$	$\sigma_{xx}=2$	$\sigma_{xx}=4$	$\sigma_{xx}=6$	$\sigma_{xx}=8$	$\sigma_{yy}=0$	$\sigma_{yy}=2$	$\sigma_{yy}=4$	$\sigma_{yy}=6$	$\sigma_{yy}=8$
14	167	153	142	132	124	149	84	59	45	37
28	167	153	142	132	124	204	115	80	61	50
90	167	153	142	132	124	270	152	106	81	66
204	167	153	142	132	124	294	167	115	88	72

Возраст бетона в днях	Модуль деформаций бетона в $\text{тн}/\text{см}^2$				
	при сложном нагружении				
	$\sigma_{xx}=0$	$\sigma_{xx}=2$	$\sigma_{xx}=4$	$\sigma_{xx}=6$	$\sigma_{xx}=8$
14	167	153	142	132	124
28	167	153	142	132	124
90	167	153	142	132	124
204	167	153	142	132	124



Фиг. 6.

В табл. 5 для всех возрастов испытания приведены модули деформаций при разных напряжениях, определенных на основании формул (5) и (7). Данные табл. 5 показывают, что модули деформации

чистого растяжения и сложного нагружения не меняются с увеличением возраста бетона. А при испытании на внутреннее давление, со старением материала, модуль деформаций увеличивается.

Экспериментальные кривые „интенсивность напряжений—интенсивность деформаций“ бетонных полых цилиндрических оболочек при испытании на сложное нагружение—внутреннее давление с последующим растяжением приведены на фиг. 6. При построении этих кривых за начало координат принята точка догрузки.

### В ы в о д ы

1. При хранении бетона в обычных температурно-влажностных условиях в данных опытах возраст бетона к моменту испытания не оказывает влияния на закономерность деформаций чистого растяжения.

2. При испытании бетонных трубчатых образцов на внутреннее давление с увеличением возраста бетона деформации уменьшаются.

3. В случае испытания бетонных тонких цилиндрических оболочек на двухосное растяжение анизотропия проявляется наиболее ярко в раннем возрасте бетона при высоких напряжениях.

4. В случае хранения цилиндрических бетонных оболочек в обычных температурно-влажностных условиях возраст бетона и начальное внутреннее давление не оказывают влияния на деформации бетона при сложно-напряженном состоянии. (Внутреннее давление с последующим растяжением).

5. Кривая деформации чистого растяжения совпадает с кривой деформации сложного нагружения (внутреннее давление с последующим растяжением), т. е. зависимость  $\varepsilon_1 - \varepsilon_1$  остается инвариантной относительно напряженного состояния.

Институт математики и механики  
АН Армянской ССР

Поступила 24 I 1967

Ք. Ա. ԿՈՏԻԿՅԱՆ

ՀԱՍՏԱԿԻ ԱԶԳԵՏՈՒԹՅՈՒՆԸ ԲԵՏՈՆԻ ԱՄՐՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԵՖՈՐՄԱՏԻՎ  
ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՎՐԱ ՆԵՐՔԻՆ ՆՆՇՈՒՄ-ԶԳՈՒՄ ԼԱՐՎԱԾԱՅԻՆ  
ՎԻՃԱԿԻ ԳԵՊՔՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Հորվածում բերվում են բետոնե բարակապատ սնամեջ գլանային թաղանթների փորձնական ուսումնասիրության արդյունքները՝ ներքին ճնշում-ձգում լարվածություն վիճակում, ձերտցման հաշվառումով: Պարզվում է, որ բետոնի հասակը չի ազդում գեֆորմացիաների կորի վրա՝ մաքուր ձգման դեպքում և էապես է ազդում ներքին ճնշման դեպքում:

Հետազոտությունները ջրայց են սպիլ, որ ինչպես բետոնի հասակը,

ախպես էլ նախնական ներքին ճնշումը չեն ազդում բարդ լարվածային վիճակի բեռանի գեֆորմացիաների վրա, երբ փորձարկման ենթարկվող նմուշները պահվում են ստորական լարորատար պայմաններում:

Յույց է արված, որ մաքուր ձգման գեֆորմացիաների կապը միաժամանակ հանդիսանում է բարդ լարվածային վիճակի (ներքին ճնշում-ձգում) գեֆորմացիաների կոր, որով և հաստատված է անցումը պարզ լարվածային վիճակից բարդին:

R. A. KOTIKIAN

## THE EFFECT OF AGE OF CONCRETE ON ITS ULTIMATE STRENGTH AND DEFORMATION IN THE CASE OF INTERNAL PRESSURE WITH SUCCESSIVE TENSION

### S u m m a r y

In the present paper the results of investigations on the ultimate strength and deformation of concrete according to its age in the case of internal pressure with successive tension are given. Hollow cylindrical shells were tested.

Investigations have shown that the initial internal pressure does not show effect on the deformation of concrete at a compound state of stress.

Under storage in usual laboratory conditions the age of the concrete cylindrical shells do not effect the regularity of deformation of pure tension and compound load.

The effect of age on the deformation of concrete is essential in the case of testing of internal pressure.

On the basis of experimental data the transfer from a simple to a compound state of stress is established.

### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Арутюнян Н. Х. Некоторые вопросы теории ползучести. М.—Л., 1952.
2. Карапетян К. С., Котикян Р. А. Влияние возраста бетона на прочность и деформативность при сложно-напряженном состоянии. Изв. АН АрмССР, Механика, т. 19, № 5, 1966.
3. Карапетян К. С., Котикян Р. А. Исследование прочности и деформативности бетона при сложно-напряженном состоянии. Докл. АН АрмССР, т. XXXIX, № 4, 1964.
4. Карапетян К. С. Об одном существенном факторе в прочностных и деформативных свойствах бетона. Докл. АН АрмССР, т. XXIV, № 4, 1957.
5. Карапетян К. С. Влияние анизотропии на деформации ползучести бетона. Известия АН АрмССР, серия физ.-мат. наук, т. X, № 6, 1957.
6. Карапетян К. С. Влияние анизотропии на ползучесть бетона при сжатии и растяжении, в зависимости от величины напряжения. Докл. АН АрмССР, т. XXXIX, № 1, 1964.
7. Карапетян К. С. Влияние фактора времени на прочность и деформативность бетона на литондной пемзе и некоторые другие его свойства. «Гидротехнический бетон на литондной пемзе». Изд. АН АрмССР, Ереван, 1958.