

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

А. А. АРАКЕЛЯН

К ТЕОРИИ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА*

Структуру бетона можно представить как раствор армированный заполнителем в виде каменных столбиков (I схема рис. 1) или виде горизонтальных каменных плит (II схема рис. 1).

Условная структура бетона по I схеме имеется в работе Н. Н. Улицкого [1], а по II схеме — в работе Г. Д. Цискрели [2]. Н. Н. Улицкий для перехода от условной структуры бетона к действительной вводит «структурный» коэффициент, который определяется опытным путем, а Г. Д. Цискрели, рассматривая действительную структуру бетона по II схеме, рассчитывает модуль упругости бетона в зависимости от модулей упругости раствора и породы крупного заполнителя.

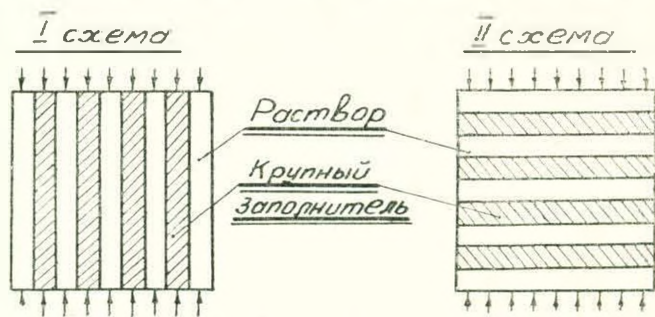


Рис. 1. Принятые условные схемы для структуры бетона.

Автор полагает, что действительная структура бетона в отношении условных структур по I и II схемам, будет занимать промежуточное положение.

Допустив, что заполнитель и раствор соединены между собою в монолит, обеспечивающий совместную работу раствора и крупного заполнителя в бетоне до момента его разрушения, можно написать следующие формулы для первой условной структуры бетона (I схема) при поперечном сечении бетонной призмы $F_0 = 1$.

* В данной статье рассматривается случай действия на бетон кратковременной нагрузки. Вопрос длительного действия нагрузки является темой специального рассмотрения.

Напряжение в бетоне (σ_0^I)

$$\sigma_0^I = \sigma_1 F_1 + \sigma_2 F_2 = \sigma_1 (F_1 + \mu F_2) \quad (1)$$

$$\mu = \frac{E_2}{E_1} = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}$$

Деформация бетона (ϵ_0^I)

$$\epsilon_0^I = \epsilon_1 = \epsilon_2$$

Модуль упругости бетона (E_0^I)

$$E_0^I = \frac{\sigma_0^I}{\epsilon_0^I} = \frac{\sigma_1 F_1 + \sigma_2 F_2}{\epsilon_0^I} = \frac{\sigma_1}{\epsilon_0^I} (F_1 + \mu F_2) = E_1 F_1 + \mu E_1 F_2$$

$$E_0^I F_0 = E_1 F_1 + E_2 F_2, \quad (2)$$

где σ_1 и F_1 — напряжение и площадь сечения более хрупкого компонента бетона;

σ_2 и F_2 — напряжение и площадь сечения более упругого компонента бетона;

μ — коэффициент, учитывающий степень участия более упругого компонента в бетоне при данном напряженном состоянии. Этот коэффициент равен отношению модулей упругости компонентов при данном напряжении;

ϵ_1^I и ϵ_2^I — относительные деформации компонентов бетона.

В случае, когда бетон доходит до предела прочности на сжатие (R_0^I), будем иметь

$$R_0^I = R_1 F_1 + \mu R_2 F_2, \quad (3)$$

а предельная сжимаемость бетона (ϵ_0^{max}) будет:

$$\epsilon_0^{\text{max}} = \epsilon_1^{\text{max}}, \epsilon_1^{\text{max}} < \epsilon_2^{\text{max}},$$

где R_1 и F_1 — предел прочности на сжатие и площадь сечения более хрупкого компонента бетона;

R_2 и F_2 — предел прочности на сжатие и площадь сечения более упругого компонента бетона;

μ — коэффициент, учитывающий степень участия более упругого компонента в общей работе бетона в момент его разрушения. Он определяется как отношение величин деформации компонентов при предельной сжимаемости бетона;

ϵ_1^{max} и ϵ_2^{max} — предельные сжимаемости компонентов бетона.

По схеме II при сечении $F_0 = 1$ будем иметь:

Напряжение в бетоне (σ_0)

$$\sigma_0 = \sigma_1 = \sigma_2$$

Деформация бетона (r_0^{II}) при высоте рассматриваемого элемента $h=1$ и высоте горизонтально расположенных компонентов в рассматриваемом элементе h_1 и h_2 ($h=h_1+h_2$), получим:

$$r_0^* = r_1 h_1 + r_2 h_2.$$

Модуль упругости (E_0^*) будет:

$$E_0^* = \frac{\varepsilon_0^*}{r_0^*} = \frac{1}{\frac{r_1 h_1}{\varepsilon_1} + \frac{r_2 h_2}{\varepsilon_2}} = \frac{1}{\frac{h_1}{E_1} + \frac{h_2}{E_2}}.$$

Учитывая, что $h_1 + h_2 = h = 1$ и $F_1 + F_2 = F_0 = 1$, взамен h_1 и h_2 можно принять площади компонентов в единице объема бетона $h_1 = F_1$ и $h_2 = F_2$. В рассматриваемом случае:

$$E_0^* = \frac{E_1 E_2}{E_2 F_1 + E_1 F_2}. \quad (5)$$

Когда напряжение бетона достигает предела прочности на сжатие (R_0^*), будем иметь:

$$\begin{aligned} R_0^* &= K R_1 \quad \text{при} \quad K R_1 < R_2 \quad K > 1 \\ R_0^* &= R_2 \quad \text{при} \quad R_2 < K R_1 \quad K < 1 \end{aligned} \quad (6)$$

а предельная сжимаемость бетона ($\varepsilon_0^{\text{MAX}}$)

$$\varepsilon_0^{\text{MAX}} = h_1 r_1^{\text{MAX}} + h_2 r_2^{\text{MAX}} \quad (\varepsilon_1^{\text{MAX}} < \varepsilon_2^{\text{MAX}}),$$

где K — коэффициент увеличения прочности на сжатие низкопрочного компонента (раствора или заполнителя) обжатого между слоями более прочного компонента. Величина коэффициента зависит от отношения его высоты (h) к ширине (a) и всегда больше единицы.

Прочность на сжатие раствора и заполнителя (R_1 и R_2) устанавливается нами на кубах с размерами ребер по 7 см. Между тем, в условной структуре бетона по II схеме высота раствора и заполнителя принята в 4 раза меньше, то есть 1,8—2 см (рис. 2).

Известно, что с уменьшением высоты и ширины испытуемого образца, его сопротивляемость на сжатие увеличивается. На основании проведенных нами опытов на цилиндрических образцах диаметром 7 см из различных пористых камней (ереванский и артекский туфы и литовская пемза) и литературных данных [3], составлена таблица 1, для коэффициента увеличения прочности материала (K^*) в зависимости от величины отношения его высоты (h) к поперечному размеру (a).

Для условной схемы II будем иметь $\frac{h}{a} \approx 0,25$, поэтому коэффициент k можно принять равным 1,34. В целях уточнения действительной величины k по схеме II были изготовлены специальные кубы-

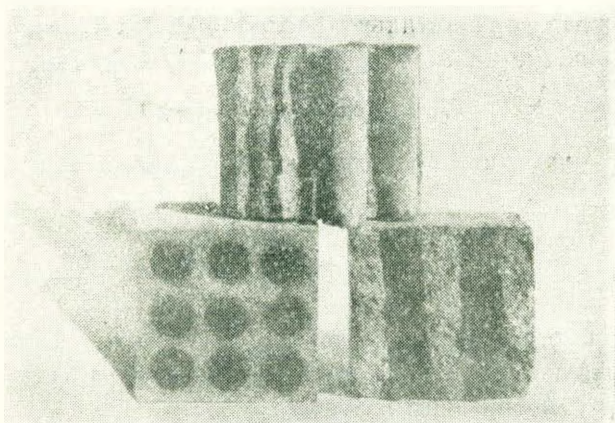


Рис. 2. Бетонные образцы, изготовленные по I и II схемам.

Таблица 1

Коэффициент прочности K при сжатии образца в зависимости от h/a

Наименование материала	$\frac{h}{a}$	1	0,5	0,25
Цилиндры из литой бетонной смеси с $d = 7$ см	1	—	—	1,31
То же из туфа	1	—	1,21	1,36
По опытам Шюля призмы из цементного раствора сечением 7 × 7 см [5]	1	—	1,23	—
Среднее	1	—	1,22	1,34

ки с размерами ребер по 10 см (рис. 2) и испытаны на сжатие в возрасте 180 дней. Результаты этих исследований приведены в табл. 2.

Таблица 2

Предел прочности бетона на сжатие условной структуры по схеме II

Горизонтальные плиты из	Фактическая прочность на сжатие в кг/см^2			Коэффициент прочности $K = \frac{R_0}{R_{\min}}$
	породы	раствора	бетона R_0	
Базальта	1280	570	678	$678 : 570 = 1,18$
"	1280	435	635	$635 : 435 = 1,45$
Туфы	183	593	247	$247 : 183 = 1,34$
"	183	345	226	$226 : 183 = 1,24$
"	152	304	210	$210 : 152 = 1,38$
"	180	304	225	$225 : 180 = 1,25$

Из приведенных данных табл. 2 можно заключить, что значения коэффициента $K=1,30-1,34$ вполне приемлемы для наших целей.

Какое положение будет занимать действительная структура бетона в отношении двух условных структур по схемам I или II установить аналитически трудно, и без затруднений можно определить опытным путем. С этой целью были изготовлены бетонные кубики с размерами ребер 10 см и, соответственно им, кубики из бетона условной структуры по схемам I и II (рис. 2). В качестве крупного заполнителя был взят щебень из ереванского туфа, фельзитовый туф и базальт. Для раствора был применен туфовый и кварцевый пески. Портландцемент был применен с активностью в 310 кг см² и 480 кг см².

Кубики по схеме I были изготовлены в специальных металлических формах, в которых симметрично устанавливались 9 цилиндриков диаметром 2,5 см и высотой 10 см с общей площадью около 45 см². Затем вибрированием укладывался цементный раствор. Цилиндрики изготавливались из породы заполнителя (рис. 2, кубик слева). Кубики по схеме II изготавливались в обычных металлических формах размерами 10×10×10 см. С этой целью в форму симметрично устанавливались две каменные плиты размерами 9,8×9,8×2,5 см, а затем форма заполнялась раствором с помощью вибрации (рис. 2, кубик справа).

С целью установления влияния наличия пустотности на прочность одновременно были изготовлены кубики со сквозными пустотами цилиндрической формы диаметром 2,6 см по схеме I без цилиндриков. Были также изготовлены кубики с размерами ребер 7 см из раствора, применяемого в опытах, и кубики с размерами сторон 10 см из бетона на щебне использованного в опытах.

Бетон проектировался с таким расчетом, чтобы объем раствора составлял 55% и щебня 45%, т. е. соответствовал объемам компонентов в образцах по схемам I и II. Все образцы установленное время хранились во влажных опилках, после чего, испытывались на сжатие в прецизионном 100-тонном прессе „Рейли“. В целях устранения влияния касательных сил на прочность бетона щебень, каменные цилиндрики и плиты перед изготовлением бетона предварительно насыщались водой.

Результаты испытаний приводятся в табл. 3. С целью уменьшения влияния сил трения при испытании образцов 1—4 их опорные грани смазывались парафином.

Из приведенных в табл. 3 данных можно заключить следующее:

Прочность бетона обычной структуры на легких заполнителях примерно равна полусумме прочностей бетона соответствующих схемам I и II. Прочность бетонов на щебне можно выразить формулой:

$$R_s \approx 0,5 (R_6^I + R_6^{II}). \quad (7)$$

Прочность бетона на фельзитовом и базальтовом щебнях получается значительно меньше, чем по формуле (7). Это обстоятельство следует объяснить тем, что щебни из базальта, тем более из фельзита, имеют низкую и недостаточную силу сцепления с раствором [4].

Таблица 3

Результаты испытания на сжатие бетонов на щебне и по схемам I и II

Наименование пород	Возраст бетонных образцов в днях	Предел прочности на сжатие бетонов в кг/см ²			$R_b = R_b^I = R_b^{II}$	Предел прочности на сжатие кубов из раствора 7×7×7 см кг/см ²	Предел прочности по формуле в кг/см ²	Расход цемента на 1 см ³ бетона	Песок
		по схеме I R_b^I	по схеме II R_b^{II}	на щебне R_b					
Ереванский черный туф	38	112	119	119	0,515	143	282	290	туфовый
Фельзит	38	117	147	109	0,313	143	905	290	.
Ереванский коричн. туф	38	102	143	127	0,52	143	248	295	.
Ереванский черный туф	105	123	143	137	0,515	264	138	295	.
То же	180	290	310	285	0,478	416	230	294	.
То же коричневый	180	227	138	182	0,50	537	103	288	.
Базальт	70	485	790	342	0,268	432	1280	295	кварцев.
Кубики из раствора размерами 10×10×10 см			—			137	—	—	туфовый
Кубики из раствора размерами 10×10×10 см со сквозными девятью цилиндрическими пустотами			—			131	—		.

что является необходимым условием для совместной работы раствора и заполнителя в бетоне условной структуры по схеме I. Надежное сцепление между крупным заполнителем и раствором имеет место лишь только при легких бетонах. Наличие пустотности в кубах почти не влияет на прочность самого материала, т. е. потери устойчивости от сквозных пустот не наблюдается.

Проверим достоверность формул (3) и (6) для расчета прочности бетонов условных структур по схемам I и II. Для этой цели использовать результаты испытаний образцов №№ 1, 3 и 4 (табл. 3) нельзя, так как опорные грани образцов при испытании их на сжатие были покрыты парафином. Между тем при определении предела прочности раствора и камня парафиновая смазка опорных граней образцов не производилась. По опытам Гелера [3] смазка опорных граней образцов снижает их прочность при сжатии (при отношении высоты и ширины образца равной единице) до 50%.

В целях проверки формул (3) и (6) экспериментальными данными, можно использовать только данные полученные для образцов №№ 5 и 6 (табл. 3), испытанных без смазки их опорных граней парафином. В бетонах 5 и 6 (табл. 3) были приняты щебень, цилиндрики и плитки из туфа прочностью 230 кг/см² и 103 кг/см² и растворы на туфовом песке прочностью, соответственно, 416 кг/см² и 537 кг/см².

Коэффициент для прочности бетона по I схеме устанавливается, исходя из деформации камня и раствора. Деформация туфовых камней определяется формулой [5].

$$\varepsilon_3 = \frac{\sigma_3}{E} = \frac{\sigma}{30000 + 200R} \quad (8)$$

Предельная сжимаемость ($\varepsilon_3^{\max}$) получится, когда $\sigma_3 = R_3$ при:

$$R_3 = 230 \quad \varepsilon_3^{\max} = 300 \cdot 10^{-5}$$

$$R_3 = 103 \quad \varepsilon_3^{\max} = 205 \cdot 10^{-5}$$

Деформация цементных растворов на туфовом песке определяется формулой:

$$\varepsilon_p^* = 0,062 (R_p + 178) \ln \left(1 - \frac{\sigma_p}{1,37 R_p} \right) \times 10^{-4} \quad (9)$$

Когда $\sigma_p = R_p$, получится предельная сжимаемость раствора:

$$\varepsilon_p^{\max} = 0,8 (R_p + 178) \times 10^{-5} \quad (9a)$$

$$\text{при } R_p = 416 \text{ кг/см}^2 \quad \varepsilon_p^{\max} = 475 \times 10^{-5}$$

$$\text{при } R_p = 537 \text{ кг/см}^2 \quad \varepsilon_p^{\max} = 570 \times 10^{-5}$$

Из полученных величин для предельной сжимаемости компонентов бетона вытекает, что раствор является более упругим материалом и частично будет участвовать в работе бетона.

Коэффициент формулы (3), учитывающий степень участия раствора в бетоне при его сжатии, устанавливается из условия получения одинаковых величин деформации раствора и камня при разрушении бетона.

В момент разрушения бетона каменный заполнитель, как сравнительно хрупкий материал, будет достигать своей предельной сжимаемости, а раствор подвергнется деформации равной предельной сжимаемости камня, поэтому:

$$\varepsilon^{\max} = \varepsilon_p = 0,062 (R_p + 178) \ln \left(1 - \frac{\sigma_p}{1,37 R_p} \right) \cdot 10^{-4}$$

Решив это уравнение относительно

$$\sigma_p = \frac{\sigma_p}{R_p}, \text{ получим:}$$

$$\sigma_p = \frac{\sigma_p}{R_p} = 1,37 \left(1 - \frac{\varepsilon^{\max}}{k_p} \right),$$

где $k_p = 0,62 (R_p + 178) \times 10^{-5}$;

Для бетона 5 (табл. 2) имеем:

$$R_3 = 230 \text{ кг/см}^2 \quad R_p = 416 \text{ кг/см}^2 \quad \varepsilon_3^{\max} = 303 \times 10^{-5}$$

* Формула получена на основании обширных экспериментальных данных.

$$F_3=0,45 \quad F_p=0,55 \quad k_p=367 \cdot 10^{-5}$$

$$\mu = 1,37 \left(1 - I^{\frac{303}{367}}\right) = 0,77.$$

II по формуле (3) получим $R_3^I = 0,45 \times 230 = 0,77 \times 416 \times 0,55 = 280 \text{ кг/см}^2$, а по опыту $R_3^I = 290 \text{ кг/см}^2$.

Для бетона состава 6 (табл. 3) имеем:

$$R_3 = 103 \text{ кг/см}^2 \quad R_p = 537 \text{ кг/см}^2 \quad \varepsilon_3^{\text{MAX}} = 205 \times 10^{-5}$$

$$F_3 = 0,45 \quad F_p = 0,55 \quad K_p = 413 \cdot 10^{-5}$$

$$\mu^* = 1,37 \left(1 - I^{\frac{205}{413}}\right) = 0,51.$$

По формуле (3) получим $R_3^I = 103 \times 0,45 = 0,51 \times 537 \times 0,55 = 198 \text{ кг/см}^2$ взамен опытного 227 кг/см^2 , что дает расхождение в 13% .

Рассчитаем прочность бетона условной структуры по схеме II формулой (6).

Для состава 5 имеем:

$R_p = 416 \text{ кг/см}^2$
 $R_3 = 230$ } получается $R_p > 1,34 R_3$ поэтому $R_0^{\text{II}} = k R_3 = 1,34 \times 230 = 308 \text{ кг/см}^2$, что совпадает с величиной, полученной опытом (310 кг/см^2).

Для состава 6 имеем:

$R_p = 537 \text{ кг/см}^2$
 $R_3 = 105$ } получается $R_p > k R_3$, поэтому $R_0^{\text{II}} = k R_3 = 1,34 \times 105 = 141 \text{ кг/см}^2$, что дает расхождение от опыта (138) 20% .

Таким образом, точность полученных нами формул (3), (6) и (7) для расчета прочности бетона по его условным структурам (схемы I и II) вполне приемлема для наших практических целей.

В целях проверки формулы (7) на базе обширных опытов, нами были использованы опытные данные Института по туфобетону [6, 7]. Были систематизированы опытные параметры туфобетона, которые необходимы для расчета прочности по формуле (7). По полученным опытным параметрам был составлен график зависимостей прочности туфобетона (R_0) от R_3^I и от R_3^{II} по формуле (7) (рис. 3).

На основании существующих опытных данных по бетону на Аншейской пемзе [8], литонидной пемзе [9], Арктиском туфе, керамзите и кварцевом песке [10, 11] были подсчитаны прочности бетонов по

* В тех случаях, когда раствор будет сравнительно хрупким, то камень будет частично участвовать в работе бетона, и коэффициент μ для формулы (3) получим из условия

$$\varepsilon^{\text{M}} = \varepsilon_3 = \frac{\sigma}{30000 - 200R_3}; \quad \mu = \frac{\varepsilon_3}{R_3} = \frac{\varepsilon_3^{\text{MAX}}}{R_3} = \frac{\varepsilon_p^{\text{MAX}}}{E_3}.$$

формуле (7) и составлен график зависимости их от прочностей, полученных опытом.

Эта зависимость дана на рис. 4.

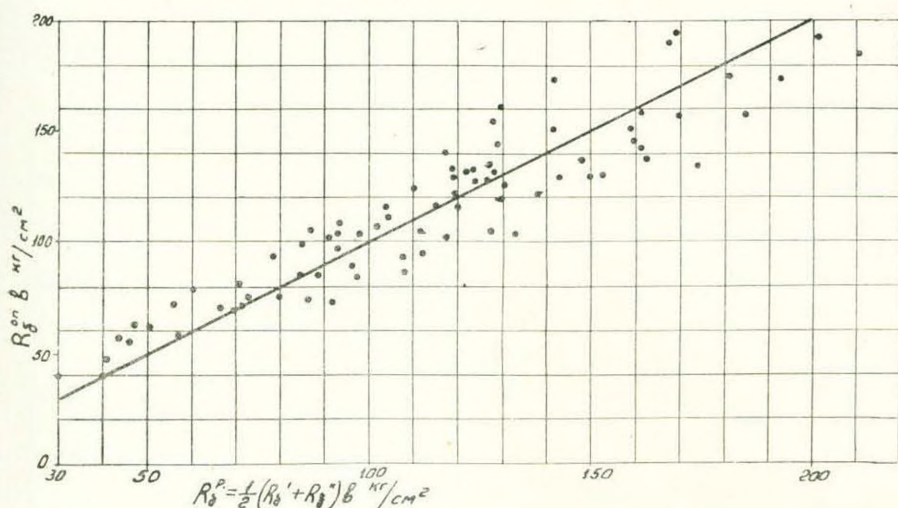


Рис. 3. Зависимость прочности туфобетона, полученной опытом ($R_0^{\text{оп}}$) от расчетной по формуле автора.

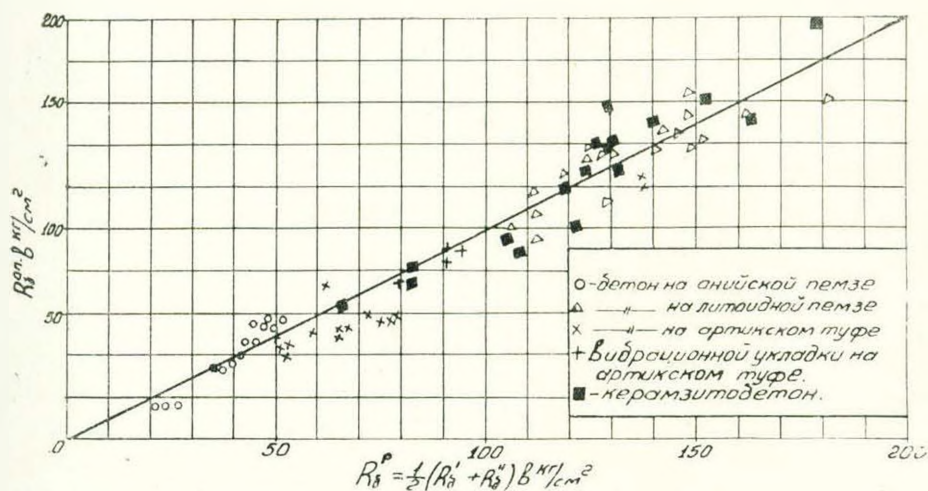


Рис. 4. Зависимость прочности бетона, полученной опытом ($R_0^{\text{оп}}$) от расчетной по формуле автора.

Из рис. 3 и 4 наглядно видно, что принятые нами условные структуры бетона, и, полученная нами расчетная формула (7) является справедливой для всяких видов легких бетонов, при которых обеспечивается надежная сила сцепления между раствором и крупным заполнителем.

Интересно установить по формуле (7) интенсивность нарастания прочностей легких бетонов в зависимости от прочности раствора. Для

этой цели была вычислена прочность туфобетона при прочности раствора $R_p=50, 100, 150, 200, 300$ и $400, 500, 600$ и 700 кг/см^2 и $R_d=70; 130$ и 260 кг/см^2 .

Для облегчения расчета принято $F_p = F_d = 0,5$.

Результаты вычисления прочности туфобетона в зависимости от прочности раствора отражены в виде графика на рис. 5.

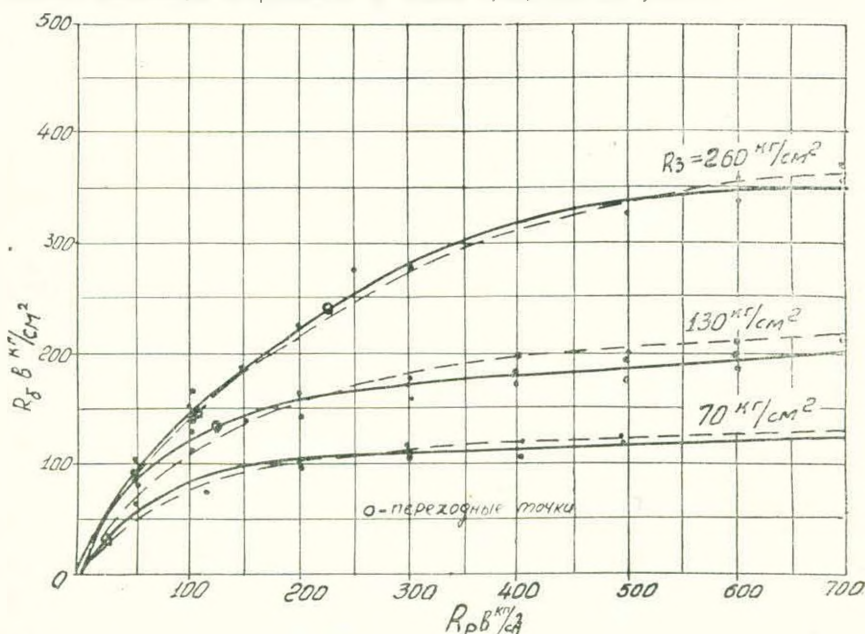


Рис. 5. Интенсивность нарастания прочности туфобетона, рассчитанной по формулам (7) и (10) от прочности раствора.

На нем пунктирной линией показана интенсивность изменения прочности туфобетона, вычисленная по формуле (при $F_p = F_d = 0,5$):

$$R_B = \frac{A_0 \cdot \frac{F_d}{F_p} \cdot R_d}{B_0 \cdot \frac{F_d}{F_p} \cdot \frac{F_d}{F_p} \cdot R_p} \cdot R_p \quad (10)$$

Вывод формулы (10) приведен в работе [12] для туфобетона ($A_0=1,09$, $B_0=1,33$).

На основании данных рис. 5 можно сделать следующие важные выводы:

1. Полученные нами две формулы (7 и 10) для расчета прочности легких бетонов дают практически вполне сходные результаты.

Из полученных формул, для практического применения следует оказать предпочтение формуле (10), которая сравнительно проста для применения и является применимой и для обычных бетонов.

Формула (7) несколько сложна и применима лишь для легких бетонов. Для применения формулы (10) требуется знание коэффи-

циентов A_0 и B_0 , а для формулы (7) — коэффициенты μ_s и μ_p определяемые на основании деформативных свойств компонентов бетонов.

2. Из рис. 5 наглядно видно, что с повышением прочности раствора, увеличивается прочность бетона с чувствительной интенсивностью до определенной точки (переходная точка), после чего наблюдается заметное снижение этой интенсивности.

Это положение соответствует тому, что до переходной точки, т. е. в первой фазе, сжимаемость раствора и заполнителя сопровождают друг друга, а во 2-й фазе (после переходной точки) имеется отставание сжимаемости заполнителя от сжимаемости раствора.

Переходная точка соответствует тому положению, когда сжимаемость раствора достигает предельной величины, т. е. выравнивается с предельной сжимаемостью заполнителя ($\varepsilon_p^{\max} = \varepsilon_s^{\max}$).

Существование фаз для интенсивного нарастания прочности в зависимости от изменения прочности раствора была установлена А. И. Вагановым [11] для керамзитобетона, с той лишь разницей, что интенсивность нарастания прочности бетона во второй фазе по нашим данным заметно смягчается, но не затухает.

В работе Ю. Е. Корниловича и М. Г. Вержбицкой [10] подтверждается также существование определенного нарастания прочности керамзитобетона и во второй фазе в зависимости от увеличения прочности раствора.

3. Вполне понятно, что экономный расход вяжущих материалов в бетонах будет в пределах первой фазы, и для предельной точки I фазы должны иметь: $\varepsilon_s^{\max} = \varepsilon_p^{\max}$ при этом коэффициент податливости μ в формуле (7) будет = 1.

Исходя из условия $\varepsilon_s = \varepsilon_p$ для туфобетона при значениях $R_s = 100-300 \text{ кг/см}^2$, соотношение R_s и R_0 получается в пределах единицы.

Примерно такое же соотношение для переходной точки мы имели для туфобетона при анализе формул (10). [12]. Это логично, так как кривые нарастания прочности бетонов в зависимости от прочности растворов по двум полученным различной методикой формулам (7) и (10) совпадают (рис. 5).

Соотношения R_s и R_0 для переходных точек по формулам (7) и (10) получаются одинаковые и для легких бетонов на керамзите, диатомовой и анижской пемзах, на арктиском туфе и т. д.

По формулам (10) для переходных точек кривых нарастания прочности бетонов имеем [12]:

$$\frac{R_s}{R_0} = \frac{1}{A_0}$$

а по формуле (7)

$$\frac{R_s}{R_0} = \frac{R_s}{\frac{1}{2} [0,5 (R_s + R_p) + R'']}$$

где R_p — есть прочность раствора с предельной сжимаемостью равной предельной сжимаемости заполнителя ($\varepsilon_p = \varepsilon_a$);
 R'' — прочность бетона, определяемая по данным R_a и R_p формулой (6).

Из вышеприведенных уравнений получаем значение коэффициента

$$A_0 = \frac{R_a + R_p - 2R''}{4R_a} \quad (11)$$

Таким образом, коэффициент A_0 формулы (10), показывающий величину соотношения прочности бетона и крупного заполнителя, можно получить из условия $\varepsilon_p = \varepsilon_a$ по формуле (11). Это означает, что коэффициент A_0 формулы (10) учитывает деформативные свойства компонентов бетона.

Для полной характеристики легких бетонов следует считать необходимым проведение подробного исследования деформативных свойств легких бетонов и его компонентов (заполнителя, раствора).

На основе экспериментов было доказано, что предел прочности бетона (R_b) равен полусумме пределов прочности бетонов условных структур по схемам I и II (рис. 1, формула 7).

Надо полагать, что аналогичная зависимость будет иметь место и в отношении модулей упругости бетонов. Поэтому на основании формул (2) и 5 можно написать выражение для модуля упругости бетона действительной структуры в следующем виде:

$$E_b = \frac{1}{2} \left[E_1 F_1 + E_2 F_2 + \frac{E_1 E_2}{E_2 F_1 + E_1 F_2} \right] \quad (12)$$

Для проверки формулы (12) было допущено, в целях облегчения задачи, что напряжение в бетоне действительной структуры равно полусумме напряжений бетонов условных структур по схемам I и II. Проверка формулы (12) дала результаты совпадающие с опытным данными. В целях анализа формулы (12) примем $E_1 = E_p$ (раствор) и $E_2 = E_a$ (заполнитель). Обозначим $\frac{E_a}{E_p} = \alpha$, $F_2 = 1 - F_p$.

И после соответствующего преобразования формулы (12) получим:

$$\frac{E_b}{E_p} = \frac{1}{2} \left[F_p + \alpha (1 - F_p) + \frac{\alpha}{1 + F_p (\alpha - 1)} \right] \quad (13)$$

На основании формулы (13) построены графики зависимости $\frac{E_b}{E_p}$ от α при различных значениях F_p .

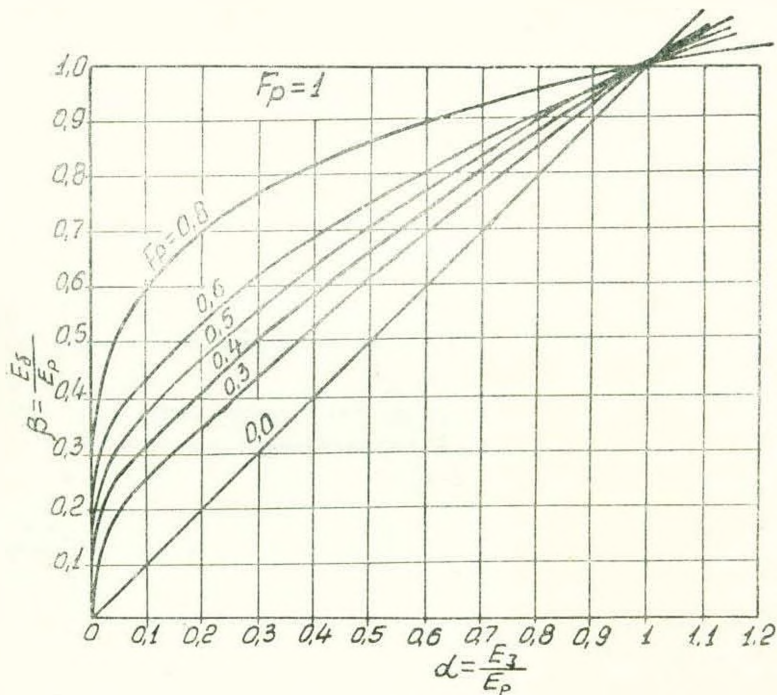


Рис. 6. Зависимость модуля деформации бетона от модулей деформации его компонентов.

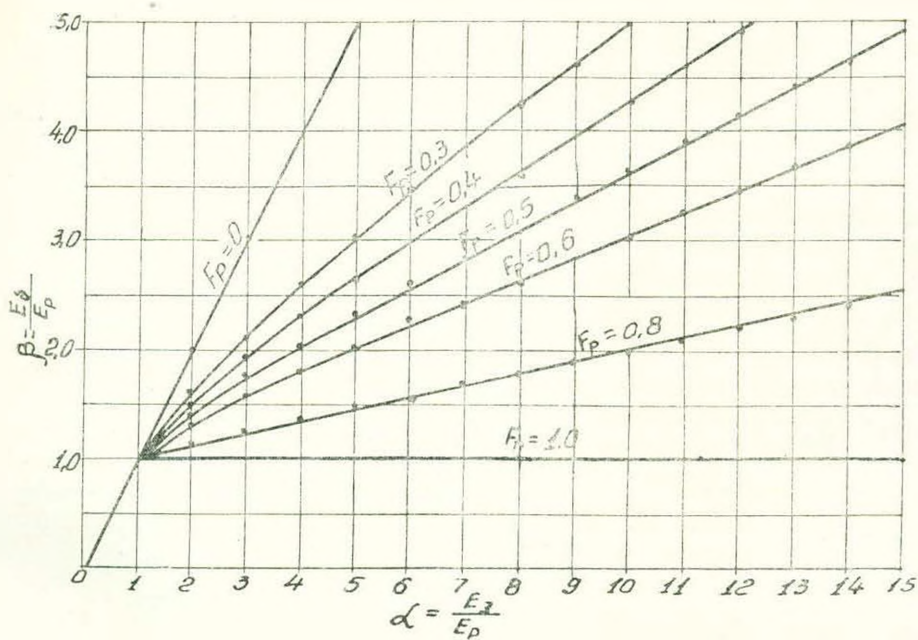


Рис. 7. Зависимость модуля деформации бетона от модулей деформации его компонентов.

Следует отметить, что полученные нами рис. 6 и 7 подобны рис. 22 и 23, приведенным в работе Цискрели Г. Д. [2]. Однако по существу имеется принципиальная разница между полученной нами формулой (12) и формулой (22) Г. Д. Цискрели [2].

Наша формула дает результаты более близкие к опытам, чем формула Цискрели.

На основании рис. 6 и 7 можно сделать следующие выводы:

1. При $\alpha > 1$, то-есть когда модуль упругости заполнителя больше модуля упругости раствора, модуль упругости бетона уменьшается с увеличением количества раствора в бетоне. При случае $\alpha < 1$ имеем обратное положение.

2. При $\alpha > 1$ изменение модуля упругости бетона при изменении количества раствора в бетоне более чувствительно. При $\alpha > 1$ получается $E_a > E_b > E_p$, а при $\alpha < 1$ $E_a < E_b < E_p$.

На основании составленных графиков 6 и 7 можно подобрать модуль упругости бетона, исходя из модуля упругости его компонентов (заполнителя и раствора) и от содержания раствора в бетоне.

Институт стройматериалов и сооружений

Гострой Армянской ССР

Поступило 2.XII 1960

Հ. Խ. ԱՌԱՔԵԼՅԱՆ

ԲԵՏՈՆԻ ԱՄՐՈՒԹՅԱՆ ՏԵՄՈՒԹՅԱՆ ՇՈՒՂՁՐ

Ա. Ժ. Փ. Ն. Փ. Ն. Փ. Ն.

Հոդվածում բերված են Հայկական ՍՍՏ Շինանյութերի և կոստրուկտիվների ինստիտուտում կատարված էքսպերիմենտալ աշխատանքների արդյունքները՝ բետոնի ամրությունը նրա բաղադրիչ մասերի (խճի և շաղախի) ամրության օգնությամբ որոշելու ուղղությամբ:

Բետոնի ստրուկտուրան բաժանվում է երկու պալմանական ստրուկտուրաների (տե՛ս նկ. 1 և 2), պալմանական ստրուկտուրաների տեսական անալիզի ու էքսպերիմենտալ փորձերի հիման վրա ստացված է բանաձև (7) որով բետոնի ամրությունը կարելի է հաշվել երկու պալմանական ստրուկտուրա անկեղծ բետոնների ամրության միջոցով:

(7) Բանաձևի միջոցով հաշված թեթև բետոնների ամրությունը միանգամայն բավարար համընկում անի փորձից ստացված տվյալների հետ:

Բացի այդ բետոնի համար ընդունված պալմանական երկու ստրուկտուրաների օգնությամբ ստացված են բանաձևեր (12) և (13), որոնցով կարելի է հաշվել բետոնի առաձգականության մոդուլը, եթե հայտնի են նրա բաղադրիչ մասերի (խճի և շաղախի) առաձգականության մոդուլները:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Улицкий Н. П. Аналитическое выражение закона ползучести бетона. „Труды IV Всесоюзной конференции по бетону и железобетонным конструкциям“, ч. II, М.-Л., 1949.
2. Цискрели Г. Д. Сопротивление растяжению неармированных и армированных бетонов. М., 1954.
3. Столяров Я. В. Введение в теорию железобетона, М.—Л., 1911.
4. Степачин В. А. Нормальное сцепление раствора с камнем. Ереван, 1950.
5. Себракян Л. Г. Изучение некоторых прочностных и деформативных свойств естественных камней. Отчет АИСМ-а, Ереван, 1952.
6. Худавердян В. М. Применение туфобетона в строительстве. Диссертация, Ереван, 1947.
7. Худавердян В. М. Экспериментальная разработка метода проектирования составов туфобетона. Отчет АИСМ-а, Ереван, 1950.
8. Акопян Р. С. Теплые бетоны с применением пензы и туфовой мелочи. Сб. научно-исследовательских трудов НИИ-а, упол. НКТП при СНК Армении, № 1, 1934.
9. Аракелян А. А. Основные свойства гидротехнического бетона на литондной пензе. Сб. Гидротехнический бетон на литондной пензе, Ереван, 1959.
10. Корнилов Ю. Е., Вержбицкая М. Г. Керамзитобетон—прогрессивный строительный материал. Киев, 1955.
11. Ваганов А. И. Исследование свойств керамзитобетона, Л.—М., 1960.
12. Аракелян А. А. Расчет прочности бетона как капиллярно-пористого материала. „Известия АН АрмССР“ (серия тех. наук), т. XIII, № 2, 1960.