

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

А. А. АРАКЕЛЯН

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА

Рассматривая бетон как капиллярно-пористый материал, автором статьи была получена следующая формула прочности бетона на сжатие [1]:

$$R_c = \frac{A \frac{z_0}{F_0} R_k}{B + z_1 \frac{F_2}{F_1} \cdot \frac{R_k}{R_2}} \text{ кг/см}^2, \quad (1)$$

где z_0 и z_1 — плотности бетона и заполнителя;

R_k и R_2 — кубиковая ($20 \times 20 \times 20$ см) прочность цементного камня и заполнителя в бетоне в кг/см^2 ;

F_2 и F_1 — относительные объемы крупного заполнителя и раствора в бетоне объемом F_0 ;

A и B — опытные коэффициенты. Значение коэффициента A устанавливается из условия равенства сжимаемости раствора и крупного заполнителя при разрушении бетона [2], а значение коэффициента B устанавливается в зависимости от вида раствора и возраста его твердения.

Прочность цементного камня определяется формулой [1]:

$$R_k = \frac{R_n}{\frac{1}{k_{\text{ит}}} - 2k_{\text{ит}}} \left[\left(\frac{C}{B} \right)_{\text{ист.}} - 2K_{\text{ит}} \right], \quad (2)$$

где R_n — активность цемента, установленная в жестких цементно-песчаных растворах в кг/см^2 ,

$K_{\text{ит}}$ — водоцементное отношение, соответствующее нормальной густоте цементного теста,

$\left(\frac{C}{B} \right)_{\text{ист.}}$ — цементно-водное отношение с учетом водопотребности заполнителей.

Значения коэффициентов A и B для некоторых видов легких бетонов месячного возраста приводятся в табл. 1.

На рис. 1 приведена кривая прочности туфобетона вычисленная по формуле (1).

Таблица 1

Бетоны на	А	В*
туфе ереванского гила прочностью 100–400 кг/см ²	1	1,55 г/см ³
литонидной пемзе прочностью 150–200 кг/см ²	1	1,60 г/см ³
керамзитовом щебне прочностью 150–200 кг/см ² и кварцевом песке	1,30	3,40 г/см ³

На рис. 2 приведены кривые нарастания прочности некоторых видов легких бетонов в зависимости от прочности цементного камня и прочности заполнителя. Из этого рисунка видно, что в случае низ-

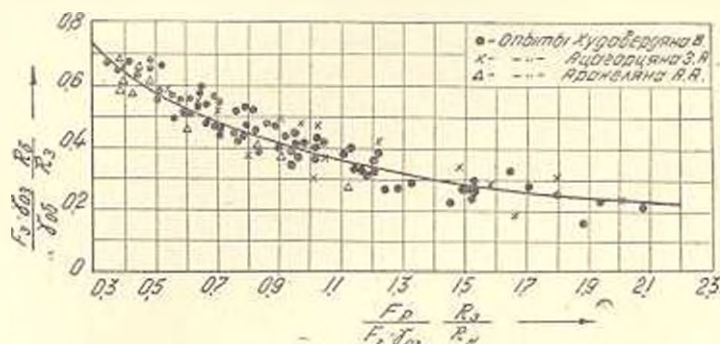


Рис. 1. Зависимость прочности тубобетона (R_0) от прочности цементного камня (R_k) и других параметров бетона.

копрочных заполнителей прочность бетона увеличивается незначительно с увеличением прочности цементного камня.

Наращение прочности легкого бетона зависит также от количества раствора в бетоне. При применении заполнителей низкой прочности увеличение нарастания проч-

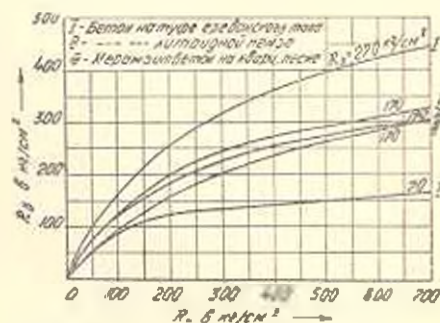


Рис. 2. Зависимость прочности легкого бетона (R_0) от прочности цементного камня (R_k).

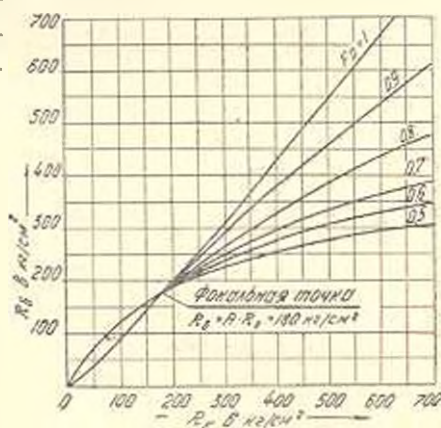


Рис. 3. Зависимость прочности бетона на литонидной пемзе (R_0) от прочности цементного камня (R_k) и количества раствора (F_p).

* Величина коэффициента установлена с учетом объемных весов бетона и его компонентов. Удельные веса затвердевшего бетона и его компонентов приняты постоянными.

ности бетона можно получить путем увеличения объема раствора в бетоне ($F_p > 0,5$). В частности, на рис. 3 приведены кривые прочности легких бетонов на литонидной пемзе ($R_1 = 180 \text{ кг/см}^2$). Из рис. 3 видно, что с увеличением объема раствора (F_p) в бетоне рост прочности бетона заметно увеличивается.

Интересно установить условие, при котором в бетоне полностью будут использованы прочностные свойства вяжущего. С этой целью, учитывая

$$\begin{cases} F_p + F_s = 1 \\ F_p \delta_p + F_s \delta_s = \delta_0 \end{cases} \quad (3)$$

представим формулу (1) в следующем виде:

$$R_k = \frac{BF_p}{\left[\frac{A}{R_0} (\delta_p - \delta_s) + \frac{\delta_s}{R_s} \right] F_p - \delta_s \left(\frac{1}{R_s} - \frac{A}{R_0} \right)} \quad (4)$$

В силу (4) приходим к выводу, что минимальная прочность цементного камня получится в случае, когда $\delta_s \left(\frac{1}{R_s} - \frac{A}{R_0} \right) \leq 0$,

$$\text{г. е. } A_{\min} = \frac{R_0}{R_s} \quad (5)$$

К этому же выводу приходим и другим путем. Для этого представим формулу (1) в следующем виде

$$\frac{R_k}{R_0} = \frac{B}{A} \cdot \frac{F_p}{\delta_p} + \frac{1}{A} \cdot \frac{\delta_s F_s R_k}{\delta_0 R_s} \quad (6)$$

Формула (6) является уравнением прямой линии. Если взять $\frac{R_k}{R_s} = \frac{B}{\delta_p}$

то с учетом (3) получим:

$$\frac{R_k}{R_0} = \frac{B}{A} \left(\frac{\delta_p F_p + \delta_s F_s}{\delta_s \delta_p} \right) = \frac{B}{A} \cdot \frac{1}{\delta_p}$$

Это значит, что при любых значениях F_p пучок прямых по формуле (6), имеет фокальную точку с координатами $\left(\frac{B_p}{\delta_p}, \frac{B}{A \delta_p} \right)$.

На рис. 4 приведено графическое выражение формулы (6). Из рис. 4 видно, что цементный камень (а следовательно и вяжущий) в бетоне используется эффективно, когда:

$$\frac{R_k}{R_s} < \frac{B}{\delta_p} \quad \text{и} \quad \frac{R_k}{R_0} < \frac{B}{A \delta_p} \quad (7)$$

Из этих неравенств при $R_s > R_0$, $A \geq 1$ вытекает $A_{\min} = R_0/R_s$, что полностью соответствует условию (5).

Анализируя графики 2, 3 и 4 приходим к следующим выводам. С изменением прочности заполнителя R_s при $R_k = \text{const}$ меняется и

прочность бетона, причем для различных видов бетонов в разной степени. Фокальные точки (см. рис. 3 и 4) разделяют две фазы.

Первая фаза соответствует эффективному использованию прочности цементного камня в бетоне; вторая фаза—соответствует случаю когда эффективность использования цементного камня в бетоне заметно

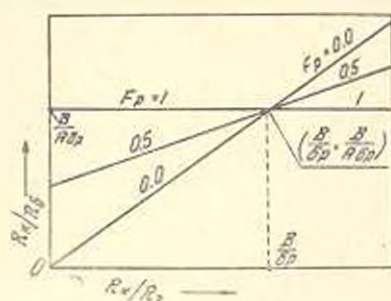


Рис. 4. Зависимость $\frac{R_k}{R_b}$ от $\frac{R_k}{R_1}$ по формуле (6) для бетонов.

снижается. Сама фокальная точка соответствует случаю, когда сжимаемость раствора достигает предельной величины и равна предельной сжимаемости заполнителя в момент раздавливания бетона. Существование первой и второй фаз нарастания прочности бетона в зависимости от изменения прочности раствора было установлено для керамзитобетона А. И. Вагановым [3]. Однако, по нашим исследованиям нарастание прочности бетона

во второй фазе заметно смягчается, но не затухает как у Ваганова.

В работе Ю. Е. Корниловича и М. Г. Вержбицкой подтверждается также существование некоторого нарастания прочности керамзитобетона во второй фазе [4]. Влияние количества раствора в бетоне на интенсивность нарастания его прочности, впервые отмечено автором (рис. 3). В легких бетонах коэффициент A позволяет установить точку раздела двух фаз на кривой прочности бетона и проектировать состав бетона с эффективным использованием вяжущих материалов. При весьма прочных заполнителях отношение (R_k/R_1) получится значительно меньше единицы, поэтому в таких случаях прочность бетона всегда будет увеличиваться с уменьшением объема раствора (F_p) в бетоне (рис. 4).

Применительно к тяжёлым бетонам второй член в знаменателе выражения (1) по сравнению с коэффициентом B пренебрежимо мал. Имея в виду это обстоятельство, формулу (1) для тяжелого бетона можно представить в следующем виде:

$$R_0 = A_2 \frac{K_2}{F_p} R_{\text{н}} \quad (8)$$

Эту же формулу можно получить из общей формулы прочности капиллярно-пористого материала, если иметь в виду, что коэффициент скорости капиллярной всасываемости для плотных заполнителей $K_2=0$ [1]. Из формулы (8) видно, что насыщение обычного бетона щебнем, которое практически можно произвести лишь до определенного предела, приводит к увеличению прочности бетона, что вполне соответствует действительности [5, 6, 7]. Учет количества раствора (щебня) в бетоне является одним из важных факторов, который устраняет основной структурный недостаток существующих расчетных формул обычных бетонов.

Для проверки формулы (8) нами, методами математической статистики, были обработаны экспериментальные данные проф. Б. Г. Скрамтаева и А. А. Будилова. На рис. 5 сплошными кружочками представлены результаты экспериментальных работ Скрамтаева и Бу-

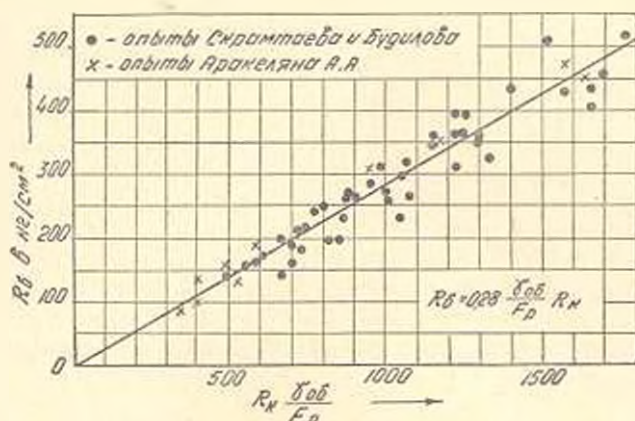


Рис. 5. Зависимости прочности обычного бетона на гранит-

ном щебне (R_b) от величины $\frac{\delta_{06}}{F_p} R_k$ по формуле (8).

илова [8] и крестиками—результаты работ автора. Прямая на рис. 5 вычислена по формуле (8). Между результатами опыта и расчетной кривой имеется удовлетворительная сходимость.

В заключение следует отметить, что полученные нами многопараметровые формулы (1) и (8) являются более точными по сравнению с существующими и могут быть использованы при унификации метода подбора составов легких и обычных бетонов практически применяемых марок.

Армянский НИИ строительных
материалов и сооружений

Поступило 15.VI 1963

Л. А. АРАКЕЛЯН

ՐԵՏՈՆԻ ԱՊՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ՈՐՈՇԵԼՈՒ ՀԱՐՑԻ ՎԵՐԱՔԵՐՅԱԸ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Վ

Հաղվածում քննված են ՀՍՍՌ-ի բազմաթիվ շինանյութերի և կառուցվածք-ների բնատրուտում կառուրված է քաղերիմենտալ աշխատանքների արդյունք-ները՝ բետոնի ամրութիւնը հաշվելու համար բանաձև ուղանալու ուղղութիւնում: Բետոնի ամրութիւնը բանաձև (1) դուրս է բերված կապիլյար ծակոտիւնն նյութ-ների համար ստացված քննչանոց բանաձևից [1]: Բանաձև (1)-ը նախարկ-ված է անալիզի, որի արդյունքները արտահայտվում են գրաֆիկների միջոցով (տես նկ. 1, 2, 3, 4):

Բանաձևեր (1) անալիզը ցույց է տալիս, որ բետոնի կազմը, եթե դուրս թլուցն ունի պայման 3 կամ 2-ը, կարելի է ստանալ համեմատաբար քիչ ցեմենտի ծախսով:

3 և 1 նկարներից պարզ երևում է, որ թեթև բետոնների համար դուրս թլուցն ունի անդաման կետ՝ մինչև անցման կետը բետոնի ամրությունը մեծանում է չաղախի քանակի քառակուսու, իսկ անցման կետից հետո ստացվում է հակառակը: Անցման կետը կախված է թեթև բետոնի տեսակից և արտահայտվում է (5) պայմանով: Լեդսենդեր (1) բանաձևից ստացվում է (8) բանաձևը սովորական խիտ լցանքովների դրա (բաղալու, զրանիս և ալյն) պատրաստված բետոնի ամրությունը հաշվելու համար:

Ստացված (8) բանաձևում ամենակարևորն ալն է, որ ամրությունը որոշելու համար հաշվի է առնվում բետոնի մեջ եղած չաղախի քանակը:

Փորձերը ցույց են տալիս, որ բետոնի ամրությունը հաշվելու համար (1) և (8)-ի բանաձևերի նշանակությունը միանգամափն բավարար է: Փորձնական և բանաձևերի միջոցով հաշված տվյալների միջին-քառակուսային տարրերությունները ստացվում են $8-12\%$:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Аракелян А. А. Расчет прочности бетона как капиллярно-пористого материала. Известия АН Армянской ССР, серия Т. Н., т. XIII, № 2, 1960.
2. Аракелян А. А. К теории прочности бетона. Известия АН Армянской ССР, серии Т. Н., т. XIV, № 4, 1961.
3. Ваганов А. И. Исследование свойств керамзитобетона, М.—Л., 1960.
4. Корнилович Ю. Е. и Вержбицкая М. Г. Керамзитобетон-прогрессивный строительный материал. Киев, 1955.
5. Ухов Б. С., Данилов Н. Н. и Шрейбер А. К. Применение метода отощения бетонной смеси в гидротехническом строительстве. Журн. „Гидротехническое строительство“ № 8, 1958.
6. Ухов Б. С., Елецкий И. С., Данилов Н. Н. и Шрейбер А. К. Опыты бетонирования массивных блоков методом отощения бетонной смеси. Журн. „Гидротехническое строительство“ № 12, 1958.
7. Коротков С. И. Зависимость прочности бетона от введения в бетонную смесь крупных камней. Журн. „Гидротехническое строительство“ № 5, 1958.
8. Скрамтаев Б. Г., Будилов А. А. Уточнение зависимости прочности бетона от активности цемента, водоцементного отношения и других факторов. Вестник ВИА им. В. В. Куйбышева, вып. 91, 1956.