

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

А. А. Аракелян

Новый метод проектирования составов бетонов и растворов

(Представлено академиком АН Армянской ССР А. Г. Изаровым 16.VII 1960)

Предлагается расчет состава бетона производить с учетом удельной поверхности и пустотности между зернами мелких и крупных заполнителей.

Проектирование состава бетона с учетом поверхности и пустотности заполнителей рассматривалось несколько в иной форме и другими авторами (1, 2).

Предложенный принцип расчета состава бетона заключается в том, что цементное тесто заполняет пустоты между зернами мелкого заполнителя и создает пленку, толщиной (δ_n), обволакивающую зерна мелкого заполнителя (песка).

Раствор, полученный из смеси цементного теста и песка, заполняет пустоты между зернами крупного заполнителя (щебня) и вокруг его зерен создает обволакивающий растворный слой толщиной ($\delta_{ш}$).

На основании вышесказанного принципа можно записать три следующие уравнения для расчета состава одного кубометра плотно уложенного бетона:

$$T = \frac{\Pi}{\gamma_{оп}} \cdot \alpha_n + \Pi \cdot I_n \cdot \delta_n,$$

$$T + \frac{\Pi}{\gamma_{уп}} = \frac{\Psi}{\gamma_{ош}} \cdot \alpha_{ш} + \Psi \cdot I_{ш} \cdot \delta_{ш},$$

$$T + \frac{\Pi}{\gamma_{уп}} + \frac{\Psi}{\gamma_{уш}} = 1000,$$

где T — объем цементного теста в литрах,

Ψ и Π — веса щебня и песка в кг,

$\gamma_{ош}$ и $\gamma_{оп}$ — объемные веса щебня и песка в $т/м^3$,

$\gamma_{уш}$ и $\gamma_{уп}$ — условные удельные веса (объемные веса в куске) щебня и песка в $т/м^3$,

$I_{ш}$ и I_n — удельные поверхности щебня и песка в $\frac{см^2}{кг}$.

δ_n — толщина цементной пленки, обволакивающей зерна песка в δ_m ,

$\delta_{ш}$ — толщина растворного слоя обволакивающего зерна щебня в δ_m ,

$\alpha_{ш}$ и α_n — пустотность щебня и песка.

Совместное решение полученных уравнений дает следующие значения для Π , Γ и T ;

$$\Pi = \frac{1000}{\frac{1}{\gamma_{уш}} + \frac{\alpha_{ш}}{\gamma_{оп}} + I_{ш} \cdot \delta_{ш}}, \quad (1)$$

$$\Gamma = \frac{\Pi \left(\frac{\alpha_{ш}}{\gamma_{ш}} + I_{ш} \cdot \delta_{ш} \right)}{\frac{1}{\gamma_{уп}} + \frac{\alpha_n}{\gamma_{оп}} + I_n \delta_n}, \quad (2)$$

$$T = \Pi \left(\frac{\alpha_n}{\gamma_{оп}} + I_n \delta_n \right). \quad (3)$$

При расчете состава раствора на 1 м^3 получаются нижеследующие выражения для значений Π и T :

$$\Pi = \frac{1000}{\frac{1}{\gamma_{уп}} + \frac{\alpha_n}{\gamma_{оп}} + I_n \delta_n}, \quad (2a)$$

$$T = 1000 - \frac{\Pi}{\gamma_{уп}}. \quad (3a)$$

Для определения количества цемента и воды в цементном тесте, можно использовать выведенную нами формулу прочности бетонов (3):

$$R = \frac{A_0 \cdot \frac{\gamma_6}{F_p} \cdot R_k}{B_0 + \gamma_3 \frac{F_3}{F_p} \cdot \frac{R_k}{R_3}}, \quad (4)$$

где B_0 — коэффициент, зависящий от возраста и вида бетона,

A_0 — коэффициент, зависящий от деформативных свойств компонентов бетона,

F_p и F_3 — относительные площади раствора и крупного заполнителя в сечении бетона ($F_p + F_3 = F_6 = 1$),

R_k и R_3 — прочности цементного камня и заполнителя в кг/см^2 ,

γ_6 и γ_3 — объемные веса затвердевшего бетона и заполнителя (в куске) в т/м^3 .

Прочность цементного камня в бетоне из формулы (4) будет:

$$R_k = \frac{B_0 \cdot F_p}{A_0 \frac{\gamma_6}{R_6} - \frac{\gamma_3}{R_3} \cdot F_3} \quad (5)$$

В частном случае для обычного бетона, прочность крупного заполнителя которого сравнительно велика, будем иметь ⁽³⁾:

$$R_6 = A \cdot \frac{\gamma_6}{F_p} \cdot R_k, \quad (6)$$

а прочность цементного камня в бетоне:

$$R_k = \frac{1}{A} \cdot \frac{F_p}{\gamma_6} \cdot R_6. \quad (7)$$

Прочность цементного камня в зависимости от качества цемента и цементно-водного фактора устанавливается формулой ⁽³⁾:

$$R_k = \frac{R_{ц}}{\frac{1}{K_{н. г.}} - 2K_{н. г.}} \left[\frac{Ц}{В} - 2K_{н. г.} \right], \quad (8)$$

где $R_{ц}$ — активность цемента, установленная в жестких цементно-песчаных растворах в $кг/см^2$,

$K_{н. г.}$ — водоцементное отношение, соответствующее нормальной густоте цементного теста,

$\frac{Ц}{В}$ — цементно-водное отношение с учетом водопотребности заполнителей.

Из формулы (8) значение $\frac{Ц}{В}$ будет:

$$\frac{Ц}{В} = \frac{R_k}{R_{ц}} \left[\frac{1}{K_{н. г.}} - 2K_{н. г.} \right] + 2K_{н. г.} \quad (9)$$

На основании проведенных экспериментальных работ, а также обработки результатов большого количества опытов, описанных в литературе ^(4, 5, 6), мы получили для некоторых видов бетонов, ориентировочные значения коэффициентов A_0 , B_0 , и A , которые приводятся в табл. 1.

При проектировании состава растворов по формулам (2а) и (3а), прочность раствора можно определить полученной нами формулой ⁽³⁾:

$$R = A'_0 \gamma_p R_k, \quad (4а)$$

где γ_p — объемный вес затвердевшего раствора в $т/м^3$,

R_k — прочность цементного камня (формулы 8 и 9),

A'_0 — коэффициент, зависящий от вида песка.

Значение коэффициента A'_0 по нашим предварительным опытам получается для раствора на кварцевых песках—0,85, на туфовых (Ереванского месторождения) и литоидно-пемзовых песках—0,92.

Ориентировочное значение опытных коэффициентов A , A_0 и B_0 для некоторых видов бетонов месячного возраста

№№ п/п	Заполнитель	Коэффициенты		
		A_0	B_0	A
		Формулы (4)		Формулы (6)
1	Из туфа Ереванского месторождения .	1,05	1,62	—
2	Литоидная пемза	0,86	1,0	—
3	Керамзитовый щебень и кварцевый песок	1,15	3,0	—
4	Плотный щебень из базальта, гранита и т. д.	—	—	0,32
5	Гравий	—	—	0,29

Пустотность между зернами заполнителей (α_n , $\alpha_{ш}$) не всегда возможно установить обычными методами, особенно, если имеются легкие заполнители.

Пустотность между зернами заполнителей предлагается установить путем заполнения межзерновых пространств тестом из цемента или другого дисперсного материала (⁷).

Величину этой пустотности можно определить формулой (⁷):

$$\alpha = \left[1 - \frac{V_p - T}{V_n} \right], \quad (10)$$

где V_p — объем свежеприготовленного раствора пластичной консистенции в литрах,

V_n — объем песка (или щебня), примененного в растворе в литрах,

T — объем теста, равного $\frac{Ц}{\gamma_{цн}} + B$ в литрах,

$\gamma_{цн}$ — удельный вес цемента в $г/см^3$ (или дисперсного материала),

$Ц$ — количество цемента (или дисперсного материала) в кг,

B — истинное количество воды для затворения.

Водопотребность заполнителя, необходимая для установления истинного количества воды затворения, устанавливается пластометром системы МГУ (⁷).

Зная величины V_p и T , можно установить удельные веса (объемные веса в куске) щебня и песка формулой:

$$\gamma_y = \frac{G}{V_p - T}, \quad (11)$$

где G — вес заполнителя (песка или щебня) в кг.

Решающее значение для расчета составов бетонов и растворов имеют удельные поверхности заполнителей. Если принять, что зерна

заполнителей имеют шарообразную форму, то удельную поверхность можно вычислить формулой:

$$I = \frac{6 K_{\phi}}{100 \gamma_y} \sum_0^n \frac{q_i}{d_i}, \quad (12)$$

где I — удельная поверхность заполнителя в $\text{дм}^2/\text{кг}$,
 d_i — средний диаметр данной фракции заполнителя в сантиметрах,
 γ_y — удельный вес (объемный вес в куске) заполнителя в $\text{т}/\text{м}^3$,
 q_i — вес данной фракции заполнителя в г (пыль в песках, прошедших через сито 0,085 мм, не учитывается),
 K_{ϕ} — коэффициент формы.

В действительности, зерна заполнителей не имеют шарообразной формы, поэтому вводится поправочный коэффициент формы (K_{ϕ}), выражающий отношение истинной величины поверхности естественного зерна заполнителя к величине поверхности зерна шарообразной формы того же диаметра.

Коэффициент формы всегда больше единицы, с уменьшением крупности зерна уменьшается величина коэффициента формы, то есть, мелкие фракции имеют сравнительно более шарообразную форму, чем крупные (2, 8).

Коэффициент формы для данной породы песка можно установить путем определения удельной поверхности по величине газопроницаемости или коэффициента фильтрации воды с использованием соответствующих приборов (8, 9).

Для определения же величины коэффициента формы для обычных и легких крупных заполнителей мы исходили из количества адсорбирующей влаги на поверхности частиц заполнителей.

Нами получены следующие ориентировочные коэффициенты формы (K_{ϕ}) для заполнителей.

Виды заполнителя	Щебень	Песок
Туф Ереванского типа	2,05	1,9
Туф Арктического типа	2,80	2,50
Литоидная пемза	2,15	2,0
Вулканические шлаки	4—5,5	2,5

На основании анализа большого количества экспериментальных данных, приведенных в литературе (2, 6), мы установили, что для получения максимальной прочности бетона значение $\delta_{ш}$ должно быть:

$$\delta_{ш} = \frac{10^{-2}}{2} d_{\text{ср}} + \delta_{\text{п}}, \quad (13)$$

где $d_{\text{ср}}$ — средний диаметр зерен песка в мм, который, исходя из постоянства удельной поверхности песка, определяется формулой:

$$d_{\text{ср}} = \frac{G_1}{0,27 a_1 + 0,54 \cdot a_2 + 1,1 \cdot a_3 + 2,23 a_4 + 4,45 a_5 + 8,5 a_6} \quad (14)$$

G_1 — сумма частных остатков в граммах на ситах, за исключением пыли, прошедшей через сито 0,085 мм.

a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 и a_6 частные остатки в граммах на ситах с отверстиями в 2,5; 1,2; 0,6; 0,3; 0,15 и 0,085 мм.

Для значения δ_n , исходя из требуемой консистенции (удобоукладываемости) бетона, получена формула:

$$\delta_n = \frac{S + a}{\eta} \cdot 10^{-5}, \quad (15)$$

где S — осадка нормального конуса бетона в сантиметрах,

η — коэффициент сравнительной текучести цементного теста, определяемый формулой

$$\eta = 2,1 \left(\frac{B}{C} - K_{\text{н. г.}} - 0,07 \right), \quad (16)$$

a — коэффициент, который можно принять для обычных бетонов — 3, для легких 4—5.

При проектировании легких бетонов должно иметь место отношение прочности исходной породы крупного заполнителя к проектируемой марке бетона при:

Артикском туфе — $R_3 \geq 0,9 R_6$,

Литоидной пемзе — $R_3 \geq 1,15 R_6$,

Анийской пемзе — $R_3 \geq R_6$,

Ереванском туфе — $R_3 \geq 0,95 R_6$.

Практическая проверка предложенной нами методики по расчету составов бетонов и растворов дала вполне положительные результаты.

Институт строительных материалов
и сооружений Госстроя Армянской ССР

Հ. Ա. ԱՌԱՔՆԷԼՅԱՆ

ԲԵՅՈՆՆԵՐԻ և ՇԱՊԱԽՆԵՐԻ ԿԱԳՄԻ ՆԱԽԱԳԾՄԱՆ ՏՈՐ ՄԵՐՈՎ

Հողվածում բերված են հայաստանի Շինանյութերի և կառուցվածքների ինստիտուտում կատարված էքսպերիմենտալ աշխատանքների արդյունքները՝ նոր մեթոդով բետոնների և շաղախների կազմը նախագծելու վերաբերյալ:

Նոր մեթոդի էությունը կայանում է հետևյալում. շաղախների կազմի նախագծման ժամանակ ընդունվում է, որ ցեմենտախմորով լցվում է ավազի միջհատիկային դատարկութայն ծավալը և ավազի հատիկների մակերեսը սլատվում է ցեմենտախմորի շերտով (δ_n) հաստությամբ: Բետոնների նախագծման դեպքում շաղախով լցվում է խճի միջհատիկային դատարկութայն ծավալը և խճի հատիկների մակերեսը սլատվում է շաղախի շերտով (δ_m) հաստությամբ:

Վերոհիշյալ սկզբունքի հիման վրա ստացված են (2a) և (3a) բանաձևերը՝ մեկ խորանարդ մետր շաղախում եղած ավազի և ցեմենտախմորի, (1), (2) և (3) բանաձևերը՝ մեկ խորանարդ մետր բետոնի մեջ եղած խճի, ավազի և ցեմենտախմորի—կշռային քանակները հաշվելու համար:

Ելնելով բետոնի ամրության և կոնսիստենցիայի պայմաններից ստացվել են (13), (15) և (16) էմպիրիկ բանաձևերը, որոնց օգնությամբ որոշվում են (ճ_п) և (ճ_ш) մեծությունները:

Հոդվածում բերված մյուս բանաձևերի միջոցով որոշվում են բետոնի կամ շաղախի նոր մեթոդով նախադժման համար մնացած անհրաժեշտ պարամետրերը:

Նոր մեթոդի ճշտությունը ստուգելու վերաբերյալ կատարված փորձերը տվել են միանգամայն դրական արդյունքներ:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ Ю. Я. Штаерман, Расчет железобетонной балки на тангенциальные напряжения. К проектированию состава бетона. Тифлис, 1929. ² В. М. Москвин и Б. Д. Тринкер, Подбор состава бетона с учетом поверхности и пустотности заполнителей, Исследование (ВНИИ по строительству). Бетоны и вяжущие, М., 1955. ³ А. А. Аракелян, «Известия АН АрмССР» (сер. техн. наук), т. XIII, № 2 (1960). ⁴ В. М. Худавердян, Методы проектирования составов туфобетона, Изд. АН АрмССР, Ереван, 1950. ⁵ Ю. Е. Корнилович, М. Г. Вержбицкая, Керамзитобетон — прогрессивный строительный материал, Киев, 1955. ⁶ Б. Г. Скрамтаев, А. А. Бубилов, Уточнение зависимости прочности бетона от активности цемента, водоцементного отношения и других факторов, Вестник Военно-инженерной Краснознаменной Академии им. В. В. Куйбышева. 94, Сб. по технологии бетона, Изд. ВИА, М., 1956. ⁷ А. А. Аракелян, Строительные растворы на некоторых песках Армянской ССР, Ереван, 1957. ⁸ А. С. Панин, Два метода определения удельной поверхности дисперсных материалов, Исследования, кровельные и гидроизоляционные покрытия, М., 1952. ⁹ Г. И. Ступаков, Опыт определения удельной поверхности мелкого заполнителя для строительных растворов и бетонов. Труды Среднеазиатского Ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательского института ирригации, вып. 90, Ташкент, 1957.