

ТЕОРИЯ СООРУЖЕНИЯ

С. М. Дургарьян

К расчету железобетонных сферических оболочек  
 по стадии разрушения

Рассмотрим в стадии разрушения сферическую железобетонную оболочку постоянной толщины  $\delta$  с центральным углом  $2\alpha$  и радиусом  $R$  (рис. 1), находящуюся под действием симметричной нагрузки, соответствующей собственному весу  $q_0$ , отнесенному к единице площади срединной поверхности.

Края оболочки усилены кольцевой арматурой сечением  $F_a$ ; ус-

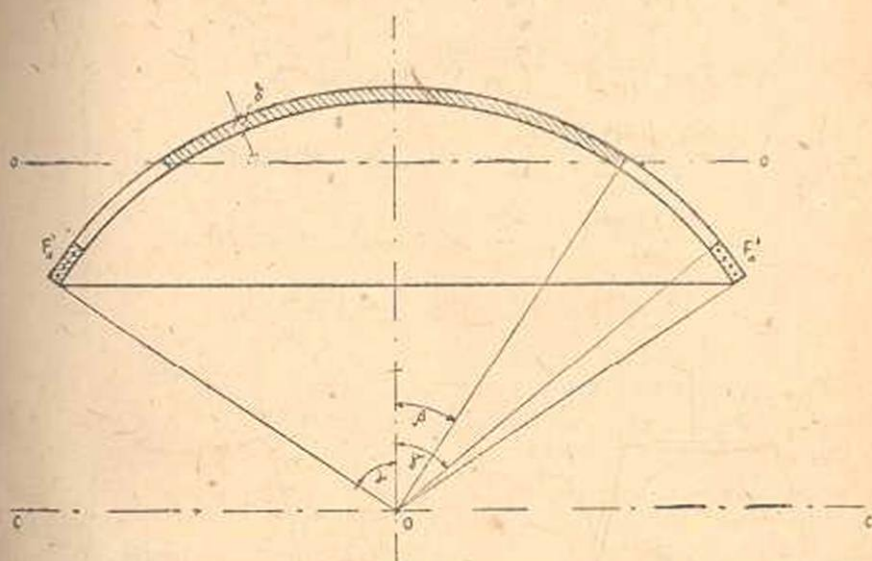


Рис. 1. Меридиональное сечение оболочки в стадии разрушения

ловия на опорах позволяют наличие только вертикальных опорных реакций.

Выделив из срединной поверхности сферы бесконечно малый четырехугольник, образуемый меридианами  $\varphi$  и  $\varphi+d\varphi$  и параллелями  $\theta$  и  $\theta+d\theta$ , рассмотрим условия его равновесия (рис. 2).

По сторонам выделенного четырехугольника на единицу длины будут действовать нормальные усилия  $T_1$  и  $T_2$ , касательные усилия  $S_1$  и  $S_2$  и поперечные силы (направленные нормально к поверхности

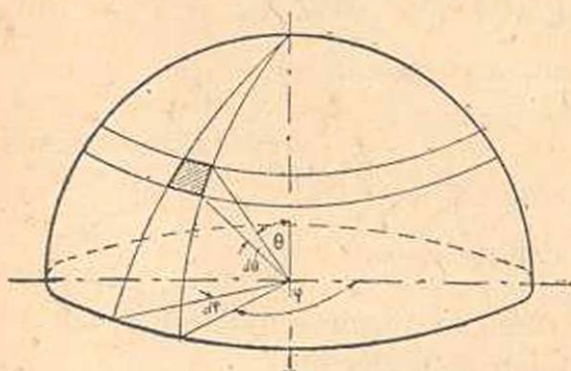


Рис. 2.

оболочки)  $N_1$  и  $N_2$ , положительные направления которых показаны на рис. 3.

Кроме этих усилий по сторонам выделенного четырехугольника будут действовать изгибающие моменты  $G_1$  и  $G_2$  и крутящие моменты  $H_1$  и  $H_2$ , векторы которых показаны на рис. 4.

Условия равновесия выделенного элемента оболочки имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial(T_1 \sin \theta)}{\partial \theta} - \frac{\partial S_2}{\partial \varphi} - T_2 \cos \theta - N_1 \sin \theta + R X \sin \theta &= 0 \\ \frac{\partial(S_1 \sin \theta)}{\partial \theta} + \frac{\partial T_2}{\partial \varphi} - S_2 \cos \theta - N_2 \sin \theta + R Y \sin \theta &= 0 \\ T_1 + T_2 + \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial(N_1 \sin \theta)}{\partial \theta} + \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial N_2}{\partial \varphi} + R Z &= 0 \\ \frac{\partial(G_1 \sin \theta)}{\partial \theta} + \frac{\partial H_2}{\partial \varphi} - G_2 \cos \theta - N_1 R \sin \theta &= 0 \\ - \frac{\partial(H_1 \sin \theta)}{\partial \theta} + \frac{\partial G_2}{\partial \varphi} + H_2 \cos \theta - N_2 R \sin \theta &= 0 \\ H_1 + H_2 + R(S_1 + S_2) &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

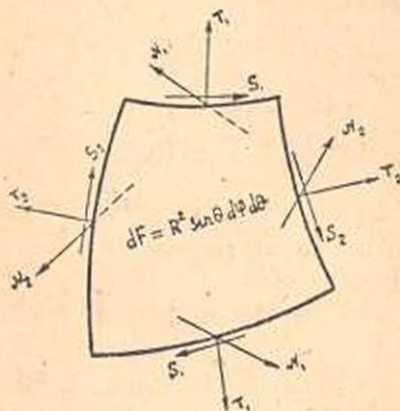


Рис. 3.

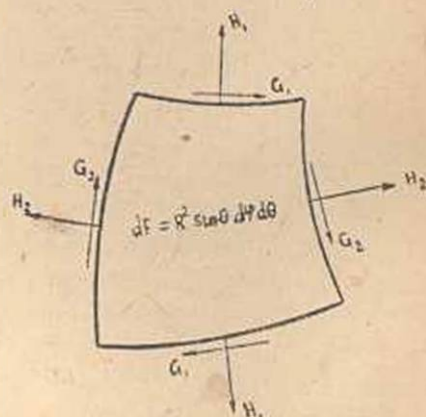


Рис. 4.

где  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  — компоненты внешней нагрузки, действующей на выделенный четырехугольник по направлениям соответственно касательной к меридиану, касательной к параллели и радиуса сферы.



$X$ ,  $Y$  и  $Z$  будем считать положительными, если они направлены соответственно в направлении возрастания  $\theta$  и  $\varphi$  и к центру сферы.

При симметричной внешней нагрузке будем иметь:

$$\left. \begin{aligned} S_1 &= S_2 = 0 \\ H_1 &= H_2 = 0 \\ N_2 &= 0 \\ Y &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Считая, что по меридиональным направлениям имеется необходимая арматура, которая препятствует образованию кольцевых трещин, можно предположить, что в стадии разрушения появятся радиальные трещины от краев оболочки к вершине.

При наличии арматуры площадью  $F_a$  в нижнем (опорном) кольце в стадии разрушения будем иметь зону с растянутой арматурой, затем зону со сквозной (по толщине оболочки) трещиной, а в верхней части — зону сжатого бетона.

В стадии разрушения принимаем:  $G_2 = 0$  (3)

Из уравнений (1) учитывая (2) и (3), получим:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial(T_1 \sin \theta)}{\partial \theta} - T_2 \cos \theta - N_1 \sin \theta + R X \sin \theta &= 0 & (a) \\ \frac{\partial T_2}{\partial \varphi} &= 0 & (b) \\ T_1 + T_2 + \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial(N_1 \sin \theta)}{\partial \theta} + R Z &= 0 & (b) \\ \frac{\partial(G_1 \sin \theta)}{\partial \theta} - N_1 R \sin \theta &= 0 & (r) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

При принятых контурных условиях, позволяющих определение опорных реакций непосредственно из условий равновесия, легко могут быть определены положение нейтральной оси и кольцевые усилия  $T_2$ , а затем из уравнений (4) остальные внутренние усилия и момент  $G_1$ .

Обозначим:  $\sigma_n$  — предел прочности сжатого бетона при изгибе,  $\sigma_t$  — предел текучести растянутой кольцевой арматуры  $F_a$ ,  $F'_a$  — приведенную площадь кольцевой растянутой арматуры,  $\sigma'_t$  — приведенный предел текучести зоны с кольцевой растянутой арматурой,  $R$  — опорную реакцию, приходящуюся на единицу длины опорного кольца.

Из условия равновесия (проектируя все силы, действующие на оболочку, на вертикаль) имеем.

$$\iint_{\text{(по поверхн. оболочки)}} R^2 X \sin^2 \theta \, d\theta \, d\varphi + \iint_{\text{(по поверхн. оболочки)}} R^2 Z \sin \theta \cos \theta \, d\theta \, d\varphi - 2\pi R P \sin \alpha = 0,$$

$$P = -\frac{R}{2\pi \sin \alpha} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\alpha} (X \sin^2 \theta + Z \sin \theta \cos \theta) d\theta, \quad (5)$$

откуда может быть определена опорная реакция для заданной симметричной нагрузки.

Для определения положения нейтральной оси меридионального сечения рассмотрим равновесие полуоболочки, находящейся под действием внешних и внутренних сил.

Из условия равновесия, определив сумму моментов всех сил, действующих на полуоболочку относительно оси СС (рис. 1), имеем:

$$2\beta R \delta \sigma_{\pi} \frac{2 \int_0^{\beta} R^2 \delta \cos \theta d\theta}{2R\beta\delta} + \int \int R^3 X \sin \theta \sin \varphi d\theta d\varphi -$$

(по поверхности полуоболочки)

$$- PR \pi \sin \alpha \frac{\int_0^{\pi} R^2 \sin^2 \alpha \sin \varphi d\varphi}{\int_0^{\pi} R \sin \alpha d\varphi} - 2F_a \sigma_r \frac{\int_0^{\alpha} \delta R^2 \cos \theta d\theta}{\delta R(\alpha - \gamma)} = 0$$

или

$$2R\delta\sigma_{\pi} \sin \beta + R^2 \int_0^{\pi} \sin \varphi d\varphi \int_0^{\alpha} X \sin \theta d\theta - 2RP \sin^2 \alpha -$$

$$- \frac{2F_a \sigma_r}{\alpha - \gamma} (\sin \alpha - \sin \gamma) = 0. \quad (6)$$

Проектируя все силы, действующие на полуоболочку, на ось, проходящую через точку 0 перпендикулярно плоскости чертежа (рис. 1), получим:

$$2\beta R \delta \sigma_{\pi} - 2F_a \sigma_r - \int \int R^2 Z \sin^2 \theta \sin \varphi d\theta d\varphi + \int \int R^2 X \sin \theta \cos \theta \sin \varphi d\theta d\varphi = 0$$

(по поверхности полуоболочки)                      (по поверхности полуоболочки)

или

$$2\beta R \delta \sigma_{\pi} - 2F_a \sigma_r + R^2 \int_0^{\pi} \sin \varphi d\varphi \int_0^{\alpha} (X \cos \theta - Z \sin \theta) \sin \theta d\theta = 0 \quad (7)$$

Таким образом, из уравнений (5), (6) и (7) могут быть опреде-



лены: реакция (P), положение нейтральной оси ( $\beta$ ) и площадь кольцевой арматуры ( $F_a$ ).

Остальные внутренние усилия и моменты могут быть определены из дифференциальных уравнений равновесия (4), если для зоны с растянутой арматурой  $T_2 = \delta \sigma'_t$ , для зоны с трещиной  $T_2 = 0$ , для зоны сжатого бетона  $T_2 = -\delta \sigma_n$  (рис. 5).

В случае, когда оболочка находится под действием собственного веса, интенсивность критической нагрузки, соответствующей приведенному весу оболочки, будет:

$$q = Kq_0,$$

где  $K$  — коэффициент запаса.

Следовательно:

$$\left. \begin{aligned} X &= q \sin \theta \\ Z &= q \cos \theta \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Принимая во внимание, что  $F_a \sigma'_t = F'_a \sigma'_t$ , где

$$F'_a = R\delta (\alpha - \gamma),$$

внеся (8) в (5), (6) и (7) и выполнив интегрирование, получим:

$$P = \frac{Rq}{\sin \alpha} (1 - \cos \alpha) \quad (9)$$

$$\delta \sigma_n \sin \beta + \frac{Rq}{2} (\alpha - 2 \sin \alpha + \sin \alpha \cos \alpha) - \delta \sigma'_t (\sin \alpha - \sin \gamma) = 0 \quad (10)$$

$$\beta \sigma_n - (\alpha - \gamma) \sigma'_t = 0 \quad (11)$$

Ориентировочно задавая значение ( $\gamma$ ) в зависимости от толщины оболочки ( $\delta$ ) и диаметра арматуры ( $d$ ), из (10) и (11) можно определить  $\sigma'_t$  и  $\beta$ .

Для рассматриваемого случая из (4) будем иметь:

$$\frac{\partial(T_1 \sin \theta)}{\partial \theta} - T_2 \cos \theta - N_1 \sin \theta + Rq \sin^2 \theta = 0 \quad (a)$$

$$\frac{\partial T_2}{\partial \varphi} = 0 \quad (b)$$

$$T_1 + T_2 + \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial(N_1 \sin \theta)}{\partial \theta} + Rq \cos \theta = 0 \quad (в)$$

$$\frac{\partial(G_1 \sin \theta)}{\partial \theta} - N_1 R \sin \theta = 0 \quad (г)$$

(12)

Определим внутренние усилия и моменты в зоне с растянутой кольцевой арматурой ( $\alpha \geq \theta \geq \gamma$ ).

$$\bar{T}_2 = \sigma'_t \delta$$

или на основании (11)

$$\bar{T}_2 = \frac{\beta \delta}{\alpha - \gamma} \sigma_n \quad (13)$$

Внеся (13) в (12 в), продифференцировав по  $\theta$  и вычитая из него (12 а), получим:

$$\frac{\partial^2(\bar{N}_1 \sin \theta)}{\partial \theta^2} + \bar{N}_1 \sin \theta + \frac{2\beta \delta \sigma_n}{\alpha - \gamma} \cos \theta + Rq(\cos^2 \theta - 2\sin^2 \theta) = 0 \quad (14)$$

Решая дифференциальное уравнение (14) методом вариации произвольных постоянных, получим:

$$\bar{N}_1 = -\frac{\beta \delta \sigma_n}{2(\alpha - \gamma)} (\operatorname{ctg} \theta + 2\theta) + Rq \cos \theta \operatorname{ctg} \theta + \bar{C}_1 + \bar{C}_2 \operatorname{ctg} \theta \quad (15)$$

Произвольные постоянные  $\bar{C}_1$  и  $\bar{C}_2$  будут определены ниже. Внеся (13) и (15) в (12 в), будем иметь:

$$\bar{T}_1 = \frac{\beta \delta \sigma_n}{2(\alpha - \gamma)} (2\theta \operatorname{ctg} \theta - 1) + Rq \cos \theta - \bar{C}_1 \operatorname{ctg} \theta + \bar{C}_2 \quad (16)$$

Для определения произвольных постоянных  $\bar{C}_1$  и  $\bar{C}_2$  имеем:

$$\text{при } \theta = \alpha \quad \bar{T}_1 = -P \sin \alpha = -Rq(1 - \cos \alpha),$$

$$\bar{N}_1 = -P \cos \alpha = -Rq(1 - \cos \alpha) \operatorname{ctg} \alpha,$$

откуда:

$$\bar{C}_1 = \frac{\alpha \beta}{\alpha - \gamma} \sigma_n \delta$$

$$\bar{C}_2 = \frac{\beta}{2(\alpha - \gamma)} \sigma_n \delta - Rq$$

и окончательно:

$$\bar{N}_1 = \frac{\beta}{\alpha - \gamma} \sigma_n \delta (\alpha - \theta) - Rq(1 - \cos \theta) \operatorname{ctg} \theta, \quad (17)$$

$$\bar{T}_1 = -\frac{\beta}{\alpha - \gamma} \sigma_n \delta (\alpha - \theta) \operatorname{ctg} \theta - Rq(1 - \cos \theta). \quad (18)$$

Внеся (17) в (12 г) и проинтегрировав, получим:

$$\bar{G}_1 = -\frac{\beta}{\alpha - \gamma} R \delta \sigma_n [(\alpha - \theta) \operatorname{ctg} \theta + 1] - \frac{R^2 q}{2} \frac{2 \sin \theta - \sin \theta \cos \theta - \theta}{\sin \theta} + \frac{\bar{C}_3}{\sin \theta}$$

Для определения произвольной постоянной  $\bar{C}_3$  имеем условие:

$$\text{при } \theta = \alpha \quad \bar{G}_1 = 0,$$

$$\text{откуда: } \bar{C}_3 = \frac{\beta}{\alpha - \gamma} R \delta \sigma_n \sin \alpha + \frac{R^2 q}{2} (2 \sin \alpha - \sin \alpha \cos \alpha - \alpha)$$

и окончательно:



$$\bar{G}_1 = -\frac{\beta}{\alpha-\gamma} R \delta \sigma_n \frac{(\alpha-\theta) \cos \theta + \sin \theta - \sin \alpha}{\sin \theta} + \\ + \frac{R^2 q}{2} \frac{(2-\cos \alpha) \sin \alpha - \alpha - (2-\cos \theta) \sin \theta + \theta}{\sin \theta}. \quad (19)$$

Таким образом определены внутренние усилия  $\bar{N}_1$ ,  $\bar{T}_1$  и момент  $\bar{G}_1$  в зоне с растянутой кольцевой арматурой ( $\alpha > \theta > \gamma$ ).

Переходим к определению внутренних усилий и момента в зоне с трещиной ( $\gamma > \theta > \beta$ ).

$$T_2^* = 0 \quad (20)$$

Изложенным выше способом из (20), (12 в) и (12 а) получим:

$$\frac{\partial^2 (N_1^* \sin \theta)}{\partial \theta^2} + N_1^* \sin \theta + Rq (\cos^2 \theta - 2 \sin^2 \theta) = 0,$$

откуда:

$$N_1^* = Rq \cos \theta \operatorname{ctg} \theta + C_1^* + C_2^* \operatorname{ctg} \theta. \quad (21)$$

Из (12 в), (20) и (21) имеем:

$$T_1^* = Rq \cos \theta - C_1^* \operatorname{ctg} \theta + C_2^* \quad (22)$$

Для определения произвольных постоянных  $C_1^*$  и  $C_2^*$  имеем условия:

$$\text{при } \theta = \gamma \quad \left. \begin{aligned} T_1^* &= \bar{T}_1 \\ N_1^* &= \bar{N}_1 \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

Из (17), (18), (21) и (22), учитывая (23), получим:

$$C_1^* = \beta \sigma_n \delta,$$

$$C_2^* = -Rq$$

и окончательно:

$$N_1^* = \beta \sigma_n \delta - Rq(1 - \cos \theta) \operatorname{ctg} \theta, \quad (24)$$

$$T_1^* = -\beta \sigma_n \delta \operatorname{ctg} \theta - Rq(1 - \cos \theta). \quad (25)$$

Внеся (24) в (12 г) и произведя интегрирование, будем иметь:

$$G_1^* = -R\beta \delta \sigma_n \operatorname{ctg} \theta - Rq \frac{2 \sin \theta - \sin \theta \cos \theta - \theta}{2 \sin \theta} + \frac{C_3^*}{\sin \theta}.$$

Учитывая, что при  $\theta = \gamma$   $G_1^* = \bar{G}_1$ ,

получим:

$$G_1^* = \frac{\beta}{\alpha-\gamma} R \delta \sigma_n (\sin \alpha - \sin \gamma) + \frac{R^2 q}{2} (2 \sin \alpha - \sin \alpha \cos \alpha - \alpha)$$

и окончательно:

$$G_1^* = \frac{\beta}{\alpha - \gamma} R \delta \sigma_n \frac{(\sin \alpha - \sin \gamma) - (\alpha - \gamma) \cos \theta}{\sin \theta} + \\ + \frac{R^2 q}{2} \frac{(2 - \cos \alpha) \sin \alpha - \alpha - (2 - \cos \theta) \sin \theta + \theta}{\sin \theta} \quad (26)$$

После определения значений внутренних усилий и момента ( $N_1^*$ ;  $T_1^*$ ;  $G_1^*$ ) в зоне с трещиной ( $\gamma > \theta > \beta$ ) перейдем к определению таковых в зоне сжатого бетона ( $\beta > \theta > 0$ ).

$$T_2 = -\delta \sigma_n. \quad (27)$$

Аналогично предыдущему из (12 а), (12 в) и (27) получим:

$$\frac{\partial^2 (N_1 \sin \theta)}{\partial \theta^2} + N_1 \sin \theta - 2 \delta \sigma_n \cos \theta + Rq (\cos^2 \theta - 2 \sin^2 \theta) = 0,$$

откуда:

$$N_1 = \frac{\delta \sigma_n}{2} (2\theta + \operatorname{ctg} \theta) + Rq \cos \theta \operatorname{ctg} \theta + C_1 + C_2 \operatorname{ctg} \theta. \quad (28)$$

Из (12 в), (27) и (28) получим:

$$T_1 = \frac{\delta \sigma_n}{2} (1 - 2\theta \operatorname{ctg} \theta) + Rq \cos \theta - C_1 \operatorname{ctg} \theta + C_2. \quad (29)$$

Для определения произвольных постоянных  $C_1$  и  $C_2$  имеем условия:

$$\text{при } \theta = \beta \quad \left. \begin{array}{l} N_1 = N_1^* \\ T_1 = T_1^* \end{array} \right\} \quad (30)$$

Из (24), (25), (28) и (29), учитывая (30), определим:

$$C_1 = 0$$

$$C_2 = -\frac{\delta \sigma_n}{2} - Rq$$

и окончательно:

$$N_1 = \delta \sigma_n \theta - Rq (1 - \cos \theta) \operatorname{ctg} \theta \quad (31)$$

$$T_1 = -\delta \sigma_n \theta \operatorname{ctg} \theta - Rq (1 - \cos \theta) \quad (32)$$

Внеся (31) в (12 г) и проинтегрировав, получим:

$$G_1 = R \delta \sigma_n (1 - \theta \operatorname{ctg} \theta) - \frac{R^2 q}{2} \frac{2 \sin \theta - \sin \theta \cos \theta - \theta}{\sin \theta} + \frac{C_3}{\sin \theta}$$

Из условия, что при  $\theta = \beta$   $G_1 = G_1^*$ , получим:

$$C_3 = \frac{R \delta \sigma_n}{\alpha - \gamma} [\beta (\sin \alpha - \sin \gamma) - (\alpha - \gamma) \sin \beta] + \frac{R^2 q}{2} (2 \sin \alpha - \sin \alpha \cos \alpha - \alpha)$$

и окончательно:

$$G_1 = \frac{R \delta \sigma_n}{(\alpha - \gamma) \sin \theta} [( \alpha - \gamma ) (\sin \theta - \theta \cos \theta) + \beta (\sin \alpha - \sin \gamma) - (\alpha - \gamma) \sin \beta] +$$



$$+ \frac{R^2 q}{2 \sin \theta} [(2 - \cos \alpha) \sin \alpha - (2 - \cos \theta) \sin \theta - (\alpha - \theta)] \quad (33)$$

Таким образом определены внутренние усилия и момент  $N_1$ ,  $T_1$  и  $G_1$  в зоне сжатого бетона ( $\beta > \theta > 0$ ).

Пример:

Задана оболочка:

$$R = 10 \text{ м},$$

$$\delta = 5 \text{ см},$$

$$2\alpha = 120^\circ,$$

Бетон марки 90. Оболочка находится под нагрузкой интенсивностью

$$q_0 = 0,288 \text{ т/м}^2.$$

$$\text{По Н и ТУ-3-49} \quad K = 2.$$

$$\text{Следовательно } q = 0,576 \text{ т/см}^2.$$

Принимаем:

$$\text{диаметр арматуры } d = 10 \text{ мм}$$

$$\sigma_r = 2500 \text{ кг/см}^2$$

$$\gamma = 50^\circ$$

Из (10) и (11) находим:

$$\beta = 0,038,$$

$$\sigma'_r = 19,7 \text{ кг/см}^2.$$

$$\text{Следовательно } F_a = \frac{R\delta(\alpha - \gamma)\sigma'_r}{\sigma_r} = 8,25 \text{ см}^2.$$

Принимаем 12 ф 10 мм, арматуру ставим на расстоянии 15 см друг от друга.

Определим внутренние усилия и момент в сечении  $\theta = 30^\circ$ .

Из (24), (25) и (26) получим:

$$N_1^* = 0,038 \times 90 \times 5 - 1000 \times 0,0576 \times 1,732 (1 - 0,866) = 3,7 \text{ кг/см},$$

$$T_1^* = -0,038 \times 90 \times 5 \times 1,732 - 1000 \times 0,0576 (1 - 0,866) = -37,3 \text{ кг/см},$$

$$G_1^* = \frac{0,038}{1,047 - 0,873} \times 1000 \times 5 \times 90 \frac{(0,866 - 0,766) - (1,047 - 0,873) \times 0,866}{0,5} +$$

$$+ \frac{1000^2 \times 0,0576}{2} \times \frac{0,866(2 - 0,5) - 1,047 - 0,5(2 - 0,866) + 0,524}{0,5} =$$

$$= 2000 \text{ кг/см}^2.$$

По найденным усилиям и моменту производим армирование оболочки по меридиональным направлениям.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Сборник трудов ЦИИПС-а „Пластинки и оболочки“, Гостройиздат, 1939.
2. А. И. Лурье—Статика тонкостенных упругих оболочек. Гостехиздат, 1947.

Ս. Մ. Դուրգարյան

ՔԱՅՔԱՅՄԱՆ ՍՏԱԴԻԱՅՈՒՄ ԵՐԿԱԹԱԲԵՏՈՆ ՍՖԵՐԻԿ  
ՔԱՂԱՆԹԻ ՀԱՇՎՄԱՆ ՄԱՍԻՆ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Աշխատության մեջ դիտված է սֆերիկ երկաթաբետոն թաղանթի հաշվումը սիմետրիկ բեռն առի, կրիտիկական վիճակում: Ստացված են հաշվային բանաձևեր թաղանթի երեք դոմաններում ներքին ճիգերը որոշելու համար:



СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Д. И. Кереселидзе

К расчету одиночных свай на действие  
горизонтальной нагрузки

Выработка правильных методов расчета одиночных свай на горизонтальное давление является весьма важной для разрешения ряда технических задач, связанных с устройством различных инженерных сооружений.

Однако, несмотря на то, что этот вопрос является предметом научного исследования многих авторов, выработанные методы расчета свай на горизонтальное давление не отражают действительной картины совместной работы свай и грунта и по своим результатам значительно расходятся с данными практики.

Это положение делает невозможным практическое применение существующих расчетных формул и заставляет искать новые пути разрешения этого вопроса.

Исключая из рассмотрения метод расчета свай, как балки, лежащей на упругом основании, который дает сильное искажение действительной картины работы свай (особенно короткой, длиной менее 5—6 м), и рассматривая ее как бесконечно жесткую по сравнению с окружающими ее грунтами, все существующие методы расчета разбиваются на две основные группы.

Первая группа методов (метод Якоби-Крея) основана на принципе изменения напряжения грунта пропорционально глубине при постоянстве коэффициента прочности грунта. При этом, изменение напряжения грунта в зависимости от глубины  $y$  на единицу ширины свай выразится формулой

$$\sigma = m y, \quad (1)$$

где  $m$  — произведение величины объемного веса грунта на разность коэффициентов пассивного и активного давлений.

Учитывая то, что под действием горизонтальной силы свая стремится повернуться вокруг некоторой точки  $O$ , расположенной по глубине погружения ее, эпюра изменения напряжения будет иметь вид, представленный на рис. 1.

Условия равновесия свай, по указанной расчетной схеме при дос-

тижении напряжения грунта у конца ее В—максимума—дает следующее значение для горизонтальной силы:

$$P = \frac{mh}{2} \left[ \sqrt{9H^2 + 12Hh + 5h^2} - (3H + 2h) \right], \quad (2)$$

где  $H$  — расстояние точки приложения горизонтальной силы от поверхности погружения и

$h$  — глубина погружения сваи.

Вторая группа методов (метод Лалетина) основана на принципе изменения напряжения грунта по параболической кривой. Такая форма эпюры напряжения получается при допущении линейного нарастания коэффициента прочности грунта по глубине погружения сваи.

Соответственно с этим расчетная схема, при предельном значении напряжения грунта на поверхности погружения, дается на рис. 2.

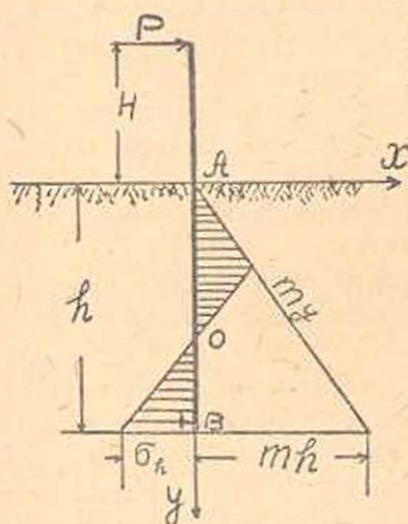


Рис. 1.

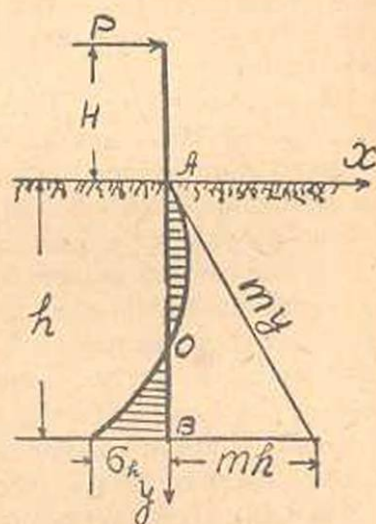


Рис. 2.

Из условия равновесия сваи величина допускаемой горизонтальной силы определится следующей формулой:

$$P = \frac{mh^3}{6(4H + 3h)}. \quad (3)$$

Как показали опыты Лалетина, изменение напряжения грунта по глубине погружения сваи действительно происходит по параболической кривой.

Формула (1), которая кладется в основу расчетных формул (2) и (3), дает представление только лишь о характере изменения напряжения и ничего не говорит о предельном значении его. Опыты показывают, что действительное значение предельных напряжений грунта в несколько раз больше напряжений, определяемых по формуле (1).

Свая, работающая на действие горизонтальной силы, стремясь



повернуться вокруг некоторой точки  $O$ , увлекает некоторую область грунта, расположенного непосредственно около сваи со стороны действия отпора земли. Когда напряженное состояние грунта достигает того положения, при котором образуются плоскости сдвигов, границы этой области грунта становятся криволинейными (рис 3).

Такой характер совместной работы сваи и грунта вполне подтверждается данными опытов.

В частности, это подтверждается опытами лаборатории оснований сооружений, результаты которых опубликованы в статье инженера В. И. Голубкова: "Экспериментальные исследования работы свай на горизонтальную нагрузку" в сборнике НИИ № 11, 1948 (фиг. № 11 и 13).

Для упрощения расчетов криволинейную поверхность заменяем прямой, а расчетная величина сопротивления грунта повороту сваи будет обуславливаться силами трения и сцепления по указанной поверхности и торцовым граням сваи.

При этом расчетная схема величины сопротивления грунта повороту прямоугольной сваи на единицу ее длины, соответствующая условию предельного равновесия, дается на рис. 4.

Введем следующие обозначения:

- $a$  — ширина сваи,
- $b$  — толщина,
- $x_0$  — длина клина,
- $\theta$  — угол наклона боковых сторон клина к его основанию,
- $\tau$  — удельная сила трения грунта о торцовые грани сваи,
- $q$  — давление грунта, прихо-

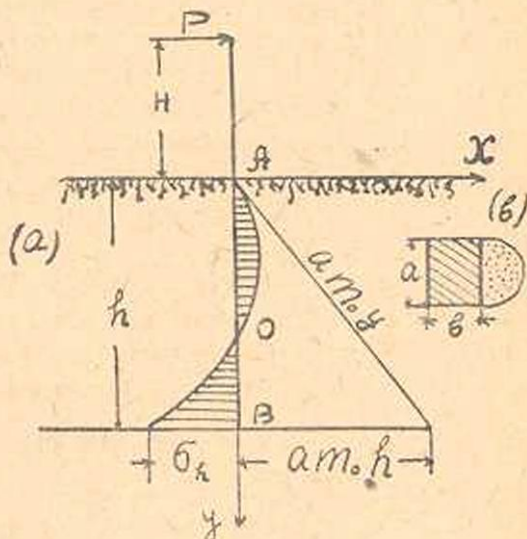


Рис. 3

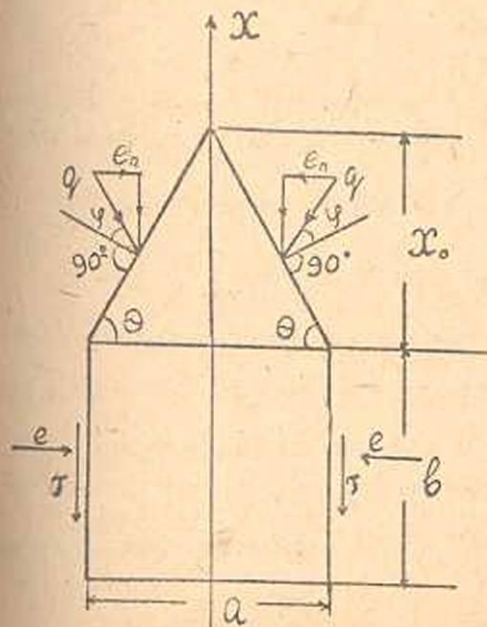


Рис. 4

дающееся на одну половину клина,  
 $e$  — давление грунта, приходящееся на единицу поверхности  
 торцовых сторон и  
 $\varphi$  — угол внутреннего трения грунта.

Предельное сопротивление грунта повороту свай, как это видно из расчетной схемы, будет представлять собою сумму проекции всех сил на ось  $X$ . Обозначая величину этого сопротивления через  $\sigma$ , получим:

$$\sigma = 2qc \cos(\theta - \varphi) + 2b\tau \quad (4)$$

Произведем разложение силы  $q$ , как это показано на чертеже, и выразим ее через составляющую  $e_n$ , перпендикулярную ось  $X$ :

$$q = \frac{e_n x_\varphi}{\sin(\theta - \varphi)} = \frac{ae_n \operatorname{tg} \theta}{2 \sin(\theta - \varphi)} \quad (5)$$

Ввиду того, что скольжение в действительности происходит в толще грунта, а не в плоскости соприкосновения грунта с торцовыми гранями свай, соответствующий коэффициент трения примем равным  $\operatorname{tg} \varphi$  и, подставляя значения  $q$  и  $\tau$  в формулу (4), получим:

$$\sigma = ae_n \operatorname{tg} \theta \operatorname{tg}(\theta - \varphi) + 2b \operatorname{tg} \varphi \quad (5)$$

Так как рассматриваемый клин работает на выпирание грунта, к моменту предельного равновесия, когда во всей напряженной зоне упругие свойства грунта используются до предела, силу  $e_n$  нужно принимать за пассивное давление. Она при горизонтальной поверхности земли и вертикальном положении свай на глубину  $y$  от поверхности земли будет иметь следующее выражение:

$$e_n = \gamma y \operatorname{tg}^2(45^\circ + \varphi/2).$$

Сила  $e$  имеет значение:  $e = \gamma y \xi$ ,  
 где  $\gamma$  — объемный вес грунта, а  $\xi$  — коэффициент бокового давления покоя, значение которого для некоторых грунтов определено опытным путем.

Величина  $\theta$  определится из уравнения (5) по условиям:

$$\frac{d\sigma}{d\theta} = 0; \quad \frac{d^2\sigma}{d\theta^2} > 0.$$

Если учесть, что условию работы клина соответствует изменение  $\theta$  в пределах  $\varphi < \theta < \frac{\pi}{2}$ , то решение этих уравнений дает  $\theta = 45^\circ + \varphi/2$ .

Подставляя значение  $e_n$ ,  $e$  и  $\theta$  в уравнение (5), получим:

$$\sigma = a\gamma y \operatorname{tg}^4(45^\circ + \varphi/2) + 2b\gamma y \xi \operatorname{tg} \varphi \quad (6)$$

Обозначив выражение  $\gamma[\operatorname{tg}^4(45^\circ + \varphi/2) + 2\xi \operatorname{tg} \varphi]$  через  $m_0$ , где  $n = \frac{b}{a}$ , получим окончательно:

$$\sigma = am_0 y \quad (7)$$

В случае свай с круглым поперечным сечением диаметром  $d$  рас-







тижении им максимума у нижнего конца сваи и допущения некоторых неупругих деформаций в верхней зоне погружения), что с практической точки зрения этой разницей можно пренебречь.

Что касается формулы (11), то она выведена по схеме параболического изменения напряжения, но при отсутствии неупругих деформаций грунта по всей глубине погружения сваи.

Величину активного давления земли на сваю в расчет не вводим, так как, ввиду малой толщины ее и возможности появления сводов давления грунта, действие активного давления является маловероятным.

С учетом сил сцепления сопротивление грунта повороту сваи соответственно формулам (7) и (9) выразится величинами:

$$\sigma = am_y + t_c, \quad (12)$$

$$\sigma' = dm_y + t'_c. \quad (13)$$

Величины сил сцепления грунта  $t_c$  и  $t'_c$ , отнесенные к единице высоты сваи, расположенной на глубине  $y$  от поверхности погружения, определяются следующими выражениями:

$$t_c = yc \left[ \frac{a}{\cos(45^\circ + \varphi/2)} + 2b \right], \quad (14)$$

$$t'_c = yc \left[ \frac{a'}{\cos(45^\circ + \varphi'/2)} + 2b' \right], \quad (15)$$

где  $c$  — удельная сила сцепления грунта, а выражения в квадратных скобках — поверхности сцепления соответственно для сваи с прямоугольным и круглым поперечным сечениями.

Сопоставлением результатов расчета с данными опытов убеждаемся, что предлагаемый метод расчета по сравнению с другими методами лучше согласуется с данными опытов. В частности, анализ результатов многочисленных опытов с деревянными сваями и песчаным грунтом, проведенных ЦНИИВТ-ом в полевых условиях и опубликованных в 1935 г. в сборнике трудов (вып. 155, „Полевые и лабораторные исследования устойчивости и прочности свай и шпунтовой стенки“) показывает, что опытная величина критической горизонтальной силы всегда превышает расчетную величину, определяемую по формуле (10). Коэффициент превышения колеблется в пределах 1,10—5,0. Причем низкий коэффициент (1,10—1,50) относится к рыхлым, а высокий (1,50—5,0) — к плотным грунтам.

Однако, это кажущееся расхождение между практикой и теорией есть результат вполне закономерных явлений и не может снизить качество теоретических исследований. В указанных опытах критическая горизонтальная сила определялась к моменту нарушенного равновесия грунта, а угол внутреннего трения —  $\varphi$ , для всех состояний грунтов (плотных и рыхлых) принимался равным углу естественного откоса ( $30^\circ$ ). Ввиду этого, превышение опытной величины горизонтальной силы над теоретической для рыхлых грунтов объясняется,



главным образом, условиями нарушения равновесия, а для плотных грунтов, помимо того, еще значительным превышением величины угла внутреннего трения плотных грунтов над углом естественного откоса, вводимого в расчетную формулу.

Предлагаемый метод можно применить, с большей гарантией на точность, для металлических и железобетонных свай, жесткость которых по сравнению с грунтами действительно весьма велика.

Тбилисский Институт  
Инженеров Железнодорожного Транспорта  
им. В. И. Ленина.

Գ. Բ. Կերեսկիան

# ՀՈՐԻԶՈՆԱԿԱՆ ՌԻԺԻ ՏԱԿ ԱՌԱՆՁՆԱԿԻ ԱՇԽԱՏՈՂ ՑՑԻ ՀԱՇՎԱՐԿՄԱՆ ՀԱՐՑԻ ՄԱՍԻՆ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հորիզոնական ուժի տակ ցցերի հաշվարկման դոկտրինն ունեցող բանաձևերից ստացված արդյունքները, համեմատած փորձերի-ավյալների հետ, ապրիս են զգալի շեղումներ:

Փորձնական ավյալների հիման վրա հեղինակն առաջարկում է (10) և (11) բանաձևերը:

Հաշվարկային բանաձևերը կառուցված են ցցի ճնշման տակ դուրս հըրվող հող սեպի հավասարակշռության պայմանից ելնելով:

Հեղինակի առաջարկած հաշվարկի մեթոդն այլ մեթոդների հետ համեմատած ավելի լավ է համընկնում փորձնական ավյալների հետ: Այն կարելի է կիրառել, ճշգրտություն մեծ երաշխիքով, մետաղյա և երկաթբետոնե ցցերի համար, որոնց կոշտությունը, հողերի հետ համեմատած, իրոք շատ մեծ է:



## К вопросу учета работы хомутов в железобетонных колоннах

Когда предельное состояние колонны наступает после того, как в бетоне напряжение достигает призмочной прочности, а в арматуре напряжения еще не достигли предела текучести, то, очевидно, что хомуты вместе с продольными стержнями будут работать как обойма, обеспечивая дальнейшую сопротивляемость бетонного ядра не только силам, вызывающим в бетоне напряжение, равное призмочной прочности, но и большим силам, соответственно предельным для колонны. При этом напряжение в бетоне больше, чем призмочная прочность, и в зависимости от расстояния между хомутами, процента содержания продольной арматуры, марки и деформационных свойств бетона, могут доходить до кубической прочности бетона.

Если напряжение в бетоне, равное призменной, наступает значительно ранее, чем предельное состояние элемента, то возможно, что в предельном состоянии колонны напряжение в арматуре не доходит до предела текучести.

Можно принять, в первом приближении, максимальный эффект повышения сопротивляемости бетона в предельном состоянии колонны, являющийся следствием наличия продольных стержней с обычными хомутами, равным  $R - R_{\text{прз}}$ .

Практически работу хомутов следует учитывать исходя из следующих положений:

а) в колоннах из бетона марки выше некоторого фиксированного  $R_1$  предельное состояние наступает тогда, когда напряжение в продольной арматуре становится равным пределу текучести, а в бетоне достигает призмочной прочности. При этом  $R_1$  определяется из условия одновременного наступления напряжений: в арматуре равно-го пределу текучести и призмочной прочности в бетоне.

б) в колоннах при применении бетона марки ниже чем  $R_c$  предельное состояние наступает тогда, когда напряжение в бетоне рав-



но кубиковой прочности, а в арматуре доходит до предела текучести. При этом  $R_2$  определяется из условия одновременного наступления напряжений: равной кубиковой прочности в бетоне, а в металле—предела текучести.

в) в колоннах из бетона марки от  $R_2$  до  $R_1$  можно считать, что предельное состояние наступает тогда, когда напряжение в бетоне достигает расчетного предельного  $R_{расч}$ , определяемого по прямой интерполяции между  $R$  и  $R_{приз}$ , а в продольной арматуре—до предела текучести. При этом расчетная предельная прочность в промежутке марок  $R_2$  и  $R_1$  меняется прямолинейно от  $R$  для марки  $R_2$  до  $R_{приз}$ , для марки  $R_1$

$$\left[ \text{то есть } R_{расч} = R_{приз} + \frac{R - R_{приз}}{R_1 - R_2} (R_1 - R) \right].$$

Эффективность хомутов в повышении сопротивляемости бетона зависит также от величины эксцентриситета действующих сил. С увеличением эксцентриситета эффективность уменьшается и при эксцентриситетах, близких к  $\frac{2}{3}a$  ( $a$ —расстояние от оси до наиболее удаленной точки сечения в сторону эксцентриситета) равна нулю.

В практических расчетах, когда сила находится в пределах ядра бетонного сечения, эффективность хомутов можно принять независящим от величины эксцентриситета.

$$\text{при } \sigma_r = 2500 \text{ кг/см}^2, E_a = 2,1 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2, R_{приз} = \frac{1300 + R}{1450 + 3R} R,$$

$$E_{бет} = \frac{1000000}{1,7 + \frac{300}{R}} \text{ и } E_{бет, пр}^{ср} = 0,4 E_{бет},$$

получается

$$R_1 = 208 \approx 200 \text{ кг/см}^2, \text{ а } R_2 = 104 \approx 110 \text{ кг/см}^2.$$

Следовательно, при расчете железобетонных колонн на воздействие сжимающих усилий, действующих внутри ядра сечения, в предельном состоянии следует принимать:

а) при марках бетона менее 110 напряжение в бетоне—равное кубиковой прочности, в арматуре—предела текучести;

б) при марках бетона выше 200 напряжение в бетоне—равное призменной прочности, в арматуре—предела текучести;

в) при марках бетона от 110 до 200 в арматуре напряжение принимается равным предела текучести, а в бетоне—

$$R_{расч} = R_{приз} + \frac{R - R_{приз}}{90} (200 - R).$$



В таблице 1 приведены результаты опытов ЦНИПС<sup>1</sup>, произведенных с целью распространения гипотезы о постоянстве моментов (при малых эксцентриситетах) разрушающей силы относительно менее сжатого края сечения, а также на железобетонные колонны. В опытах

Таблица 1

Величины  $p_6 \cdot c_6 = \frac{P_6}{F_6 \cdot R_{приз}} \cdot \frac{d-a+e_0}{d}$ , определенные из результатов испытания железобетонных колонн и бетонных призм с малыми эксцентриситетами.

| №№<br>п/п | Бетонные призмы |                           |                        |                                 | Железобетонные колонны |                           |                        |                                 | Примечание                                                                                |
|-----------|-----------------|---------------------------|------------------------|---------------------------------|------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
|           | №<br>образцов   | R в<br>кг/см <sup>2</sup> | e <sub>0</sub> в<br>см | p <sub>6</sub> · c <sub>6</sub> | №<br>образ.            | R в<br>кг/см <sup>2</sup> | e <sub>0</sub> в<br>см | p <sub>6</sub> · c <sub>6</sub> |                                                                                           |
| 1         | 546'            | 82                        | 3,45                   | 0,416                           | 535                    | 82                        | 3,7                    | 0,421                           | В образцах №№ 534, 535 и 536 арматура поставлена только в менее сжатой зоне, без хомутов. |
| 2         | 545'            | 81                        | 3,62                   | 0,420                           | —                      | —                         | —                      | —                               |                                                                                           |
| 3         | 501'            | 99                        | 3,37                   | 0,396                           | 536                    | 99                        | 3,6                    | 0,367                           |                                                                                           |
| 4         | 522'            | 96                        | 4,50                   | 0,408                           | —                      | —                         | —                      | —                               |                                                                                           |
| 5         | 520'            | 108                       | 4,05                   | 0,385                           | 534                    | 108                       | 3,2                    | 0,375                           |                                                                                           |
| 6         | 519'            | 107                       | 3,57                   | 0,348                           | —                      | —                         | —                      | —                               |                                                                                           |
| 7         | 506'            | 106                       | 4,0                    | 0,352                           | —                      | —                         | —                      | —                               |                                                                                           |
| 8         | 534'            | 108                       | 2,0                    | 0,451                           | —                      | —                         | —                      | —                               |                                                                                           |
| Среднее   |                 |                           |                        | 0,397                           |                        |                           |                        |                                 | 0,389                                                                                     |
| 9         | 533'            | 93                        | 2,0                    | 0,360                           | 533                    | 93                        | 6,4                    | 0,439                           | Марка бетона меньше 100                                                                   |
| 10        | 528             | 138                       | 2,12                   | 0,388                           | 528                    | 138                       | 6,5                    | 0,441                           | Марка бетона от 123 до 160                                                                |
| 11        | 516             | 132                       | 4,55                   | 0,420                           | 527                    | 123                       | 6,3                    | 0,403                           |                                                                                           |
| 12        | B'              | 155                       | 3,81                   | 0,376                           | 431                    | 160                       | 6,5                    | 0,444                           |                                                                                           |
| 13        | B' <sub>2</sub> | 155                       | 3,90                   | 0,416                           | 444                    | 150                       | 6,9                    | 0,495                           |                                                                                           |
| 14        | B' <sub>3</sub> | 155                       | 4,0                    | 0,382                           | —                      | —                         | —                      | —                               |                                                                                           |
| Среднее   |                 |                           |                        | 0,396                           |                        |                           |                        |                                 | 0,446                                                                                     |
| 15        |                 |                           |                        |                                 | 411                    | 215                       | 6,5                    | 0,405                           | Марка бетона больше 200                                                                   |
| 16        |                 |                           |                        |                                 | 418                    | 210                       | 6,5                    | 0,457                           |                                                                                           |
| 17        |                 |                           |                        |                                 | 403                    | 366                       | 6,5                    | 0,446                           |                                                                                           |
| 18        |                 |                           |                        |                                 | 406                    | 300                       | 6,5                    | 0,364                           |                                                                                           |
| Среднее   |                 |                           |                        |                                 |                        |                           |                        |                                 | 0,418                                                                                     |

были измерены относительные деформации продольных стержней, что дало возможность вычислить нагрузку, которую берет на себя в предельном состоянии бетонное сечение колонны.

Данные таблицы 2, где сопоставлены теоретические предельные прочности бетона в зависимости от его марки с опытными, по-видимому, подтверждают правильность изложенных выше предположений.

В свете изложенного становится ясным, почему в нормах проектирования ж. б. констр. 1934 г., основанных на опытах с колоннами из бетонов низких марок, прочность бетона в колоннах при-

<sup>1</sup> М. С. Боршанский—Исследование работы внецентрично сжатых железобетонных элементов. „Проект и стандарт“, № 6, 1936 г.



ията равной кубиковой прочности, а в новых нормах, основанных на опытах с колоннами на бетонах более высоких марок как предельное принята призмевая прочность, что, конечно, не полностью учитывает несущую способность бетонного сечения в колоннах из бетонов марки ниже 200.

Таблица 2

Опытные и теоретические предельные прочности бетона в железобетонной колонии в зависимости от марки бетона

| Описание элемента                                                              |                                           | Напряжение в бетоне в предельном состоянии колонии |                        | Расхождение теоретических предельных прочностей от опытных в $\frac{\sigma_{\text{теор}}}{\sigma_{\text{оп}}}$ |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                |                                           | Опытное                                            | Теоретическое          |                                                                                                                |
| Колонна с арматурой в растянутой зоне, без хомутов, на бетоне марки меньше 110 |                                           | $\frac{0,289}{0,397} = 0,98 R_{\text{приз}}$       | $R_{\text{приз}}$      | - 2,0                                                                                                          |
| Колонна с хомутами                                                             | На бетоне марки менее 100 (-93)           | $\frac{0,439}{0,360} = 1,22 R_{\text{приз}}$       | $1,25 R_{\text{приз}}$ | - 2,5                                                                                                          |
|                                                                                | На бетоне марки в среднем 150 (130 ÷ 160) | $\frac{0,446}{0,396} = 1,12 R_{\text{приз}}$       | $1,15 R_{\text{приз}}$ | - 2,6                                                                                                          |
|                                                                                | На бетоне марки выше 200 (210 ÷ 366)      | $\frac{0,418}{0,40} = 1,04 R_{\text{приз}}$        | $R_{\text{приз}}$      | + 4,0                                                                                                          |

Институт Сооружений и Строительных Материалов  
Академии Наук Армянской ССР.

### 1. Գ. Սեդրակյան

## ԵՐԿԱՅԲԵՏՈՆԵ ՍՅՈՒՆԵՐՈՒՄ ԽԱՍՈՒԹՆԵՐԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ՀԱՇՎԱՐԿԻ ՄԱՍԻՆ

### Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Երկաթբետոնե սյուներում խամութներն ապահովում են երկայնական արձատարայի և բետոնի համառոտ աշխատանքը և երկայնական ձողերի հետ միասին բետոնի համար ստեղծում են արտաքին պաշտպան, որը խանգարելով բետոնի ընդլայնական զեֆորմացիաներին, մեծացնում է բետոնի սահմանային դիմադրությունը սյան մեջ:

Հազվադեպ ժամանակ է տրվում, որ խամութների զերբ սյան մեջ բետոնի դիմադրողականությունը մեծացնելու գործում կախված է նաև սյան վրա գործող արտաքին ուժերի ազդեցություն լինելուց: Որքան մեծ է արտաքին ուժի էքսցենտրիսիտետը, այնքան փոքր է խամութների ներկայության պատճառով ստացվող էֆեկտը:

Գործնականում երբ ուժը դորժում է կտրվածքի միջուկի սահմաններում, խամութների ներկայության պատճառով ստացվող էֆեկտը կարելի է ընդունել հաստատուն:

Ի նկատի ունենալով խամութների ներկայությունը և սյան բետոնի ու արմատուրայի առաձգական հատկությունները, ցույց են տրված, որ սյան համար սահմանային վիճակ է ստեղծվում՝

ա) եթե սյան բետոնը «110» մարկայից ցածր է, լարվածությունը բետոնում հասել է խորանարդի ամրությանը, իսկ արմատուրայում՝ հոսունության սահմանին:

բ) երբ բետոնը «200» մարկայից բարձր է, լարվածությունը բետոնում հասել է պրիզմային ամրությանը, իսկ արմատուրայում՝ հոսունության սահմանին:

գ) երբ բետոնը «110»—«200» մարկայի է, արմատուրայում լարվածությունը հասել է հոսունության սահմանին, իսկ բետոնում՝

$$R_{\text{расч}} = R_{\text{приз}} + \frac{R - R_{\text{приз}}}{90} (200 - R).$$

2-րդ աղյուսակում համեմատված են վերը նշված ձևով ստացված սահմանային ամրությունները՝ կախված բետոնի մարկայից, փորձից ստացված ամրությունների հետ (ըստ ЦНИПС-ի փորձերի): Աղյուսակի տվյալները ցույց են տալիս, որ շեղումները 40/0-ից չեն անցնում:



## СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

С. А. Шагинян

### Экспериментальное исследование кладки мидис

В Закавказье широко применяется трехслойная кладка мидис с применением естественных строительных камней. Эта система кладки состоит из двух наружных рядов штучных камней, сложенных на пластичном растворе и среднего бутового заполнения с заливкой раствора литой консистенции, который замоноличивает кладку.

Экспериментальному исследованию кладки мидис посвящена работа З. А. Адагорцяна [3], которым в 1940 г. испытаны 9 армированных и 4 неармированных столбика размерами  $25 \times 25 \times 50$  см.

Недостатком указанной работы является то, что автором испытаны модельные образцы. Как известно, это обстоятельство приводит к существенному искажению характеристик кладки.

В 1945 г. А. А. Чураян [10] произвел динамическое испытание 13 образцов армированной кладки мидис с применением арктического туфа; размеры образцов в этих опытах составляли  $35 \times 115 \times 95$  см.

Насколько нам известно, статические испытания кладки мидис натуральной величины не производились.

В связи с отсутствием экспериментально обоснованных данных по прочности кладки мидис в нормативных положениях У-57-43 принята следующая редакция: „Кладка мидис по прочности приравнивается к бутовой кладке из постелистого камня“ [9]. В новых нормах Н-7-49 по кладке мидис никаких указаний не дано [5].

В Институте Строительных Материалов и Сооружений Академии Наук Армянской ССР с 1948 г., по развернутой программе, начато комплексное экспериментально-теоретическое исследование по проблеме „Естественные строительные камни Армянской ССР и каменные конструкции“, включающее изучение вопросов механической обработки камня, физико-механических свойств камня, а также статических и динамических свойств кладки из естественных камней Армянской ССР [1, 7, 8, 11].

Опыты автора настоящей статьи, произведенные по этой проблеме в 1949 г., имели целью установить прочность и деформационные свойства кладки мидис при сжатии, с применением туфового камня одного месторождения и одной марки раствора и проверить



соответствие нормативных данных с полученными экспериментальными данными.

Исследование кладки мидис на сжатие производилось на 16 опытных образцах размерами  $50 \times 70 \times 125$  см, состоящих из двух типов: тип А—столбы с применением только ложковых камней и тип В—с тычковыми камнями через два ложка (рис. 1). Образцы испытывались в возрасте 28 и 90 суток, а также в возрасте 1 суток для получения раствора нулевой прочности.

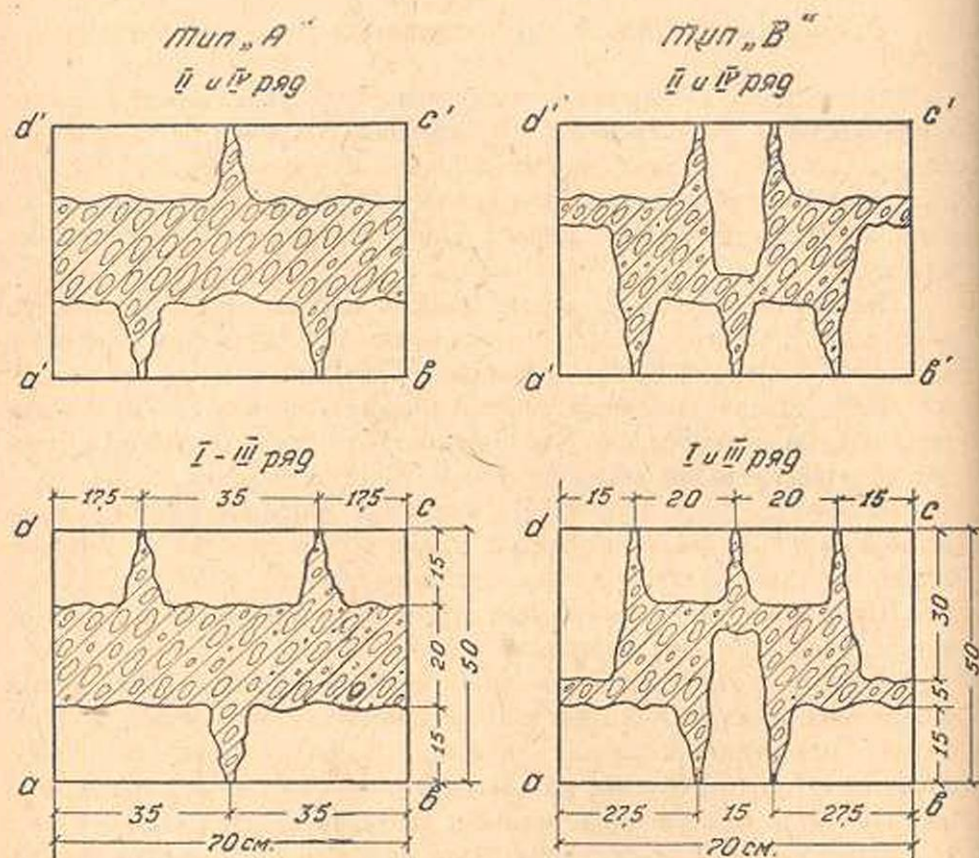


Рис. 1. Опытные образцы кладки мидис (план).

Параллельно с исследованием кладки мидис производилось изучение прочности примененного раствора и бутобетона.

Для изготовления опытных образцов кладки мидис применялись следующие материалы:

а) туф черного цвета джрвежского месторождения, с объемным весом  $1,45 \text{ т/м}^3$ , с диапазоном колебаний от  $1,40$  до  $1,50 \text{ т/м}^3$  [7]. Образцы этого туфа, в виде цилиндров диаметром  $15 \text{ см}$  и длиной  $60 \text{ см}$ , до момента разрушения имеют постоянный модуль упругости, в среднем  $60000 \text{ кг/см}^2$ , с колебанием для отдельных образцов от  $45000$  до  $77000 \text{ кг/см}^2$ . Изготовленные кубики размерами сторон



10 см из этого же туфа показали прочность (в среднем)  $100 \text{ кг/см}^2$  с колебанием от 70 до  $140 \text{ кг/см}^2$ .

Для получения однообразных образцов кладки, околка камней производилась по заранее вырезанным шаблонам по формам и размерам, указанным на чертеже (рис. 1);

б) туфовый щебень (хибар) размерами 5–10 см, полученный как отход от оковки указанных выше туфовых блоков;

в) туфовый песок, полученный перемалыванием остатков туфового щебня (хибар) в молотковой дробилке, с последующим просеиванием через сита с отверстием 5 мм.

Песок имел среднюю крупность 0,38 мм, объемный вес  $1,03 \text{ т/м}^3$  и содержал до 36% пылевидных частиц туфа;

г) портландцемент араратского завода им. С. Орджоникидзе. Испытания по ОСТ показали, что портландцемент обладает активностью  $400 \text{ кг/см}^2$ ;

д) карбидная известь (шлам) Ереванского завода им. Кирова.

Опытные образцы столбов из кладки мидис возводились на сложном растворе с объемным соотношением 1:2, 3:11 (портландцемент, карбидная известь с содержанием 50% воды, туфовый песок). Раствор изготовлялся вручную, с тщательным перемешиванием компонентов.

Образцы состояли из четырех рядов кладки, сложенных в один день. Кладка столбов производилась в помещении лаборатории каменщиком средней квалификации. Образцы возводились на железобетонных плитах размерами  $50 \times 70 \times 14 \text{ см}$ , с соблюдением требований, предъявляемых к кладке мидис [4].

Раствор применялся двух консистенций: пластичной, с осадкой конуса Строй ЦНИЛ-а 9,5–10,5 см, литой осадкой конуса (без грузика) 11,5–12,5 см. Одновременно с возведением опытных столбов изготовлялись контрольные кубики из раствора с размерами сторон в 7 см и восьмерки. Для определения прочности средней части столба изготовлялись также кубики размером  $20 \times 20 \times 20 \text{ см}$  из бутобетона под заливку. Образцы раствора и бутобетона изготовлялись в металлических формах на пористом основании.

Все образцы кладки и раствора хранились в помещении лаборатории в обычных, воздушно-сухих условиях.

В таблице 1 приведен температурно-влажностный режим хранения образцов.

За 7–10 дней до испытаний верхние плоскости столбов выравнивались по уровню цементным раствором, а боковые грани окрашивались известковым молоком.

Для определения объемного веса кладки мидис образец кладки перед установкой взвешивался при помощи специальных весов и затем устанавливался в пресс.

С целью обеспечения равномерного соприкосновения металлических плит пресса с нижней и верхней поверхностями образца между



Таблица 1

| Наименование                 | Первый месяц<br>(август) |              |         | Второй месяц<br>(сентябрь) |              |         | Третий месяц<br>(октябрь) |              |         |
|------------------------------|--------------------------|--------------|---------|----------------------------|--------------|---------|---------------------------|--------------|---------|
|                              | Макс.-<br>мум            | Мини-<br>мум | Средняя | Макс.-<br>мум              | Мини-<br>мум | Средняя | Макс.-<br>мум             | Мини-<br>мум | Средняя |
| Температура<br>воздуха<br>°C | 29                       | 25           | 26      | 27                         | 20           | 23      | 20                        | 15           | 16      |
| Влажность<br>воздуха<br>в %  | 55                       | 46           | 51      | 57                         | 45           | 51      | 59                        | 42           | 54      |

торцами их и металлическими плитами заливался слой алебастра.

Испытание кладки производилось на 200-тонном гидравлическом прессе.

Образцы кладки мидис испытывались однократной нагрузкой до разрушения. Нагрузка увеличивалась ступенями по 4,5—5,5 тонн, что соответствовало повышению напряжения в кладке 1,3—1,5 кг/см<sup>2</sup>. На каждой ступени нагрузки производилась выдержка усилия для записи отсчета по приборам, после чего нагрузка снималась до следующей ступени.

Установленные на образце измерительные приборы удалялись при нагрузке, отвечающей интенсивному развитию трещин и деформаций. После снятия приборов нагрузка повышалась до полного разрушения образца.

Замер продольных деформаций кладки производился четырьмя деформометрами с базой 90 см (рис. 2). Испытание кубиков из раствора производилось на 10-тонном гидравлическом прессе; восьмерки испытывались на приборе Михаэлиса, кубики из бутобетона на 50-тонном гидравлическом прессе.

Результаты испытания раствора и бутобетона, испытанные в возрастах 28 и 90 суток, приведены в таблицах 2, 3 и 4.

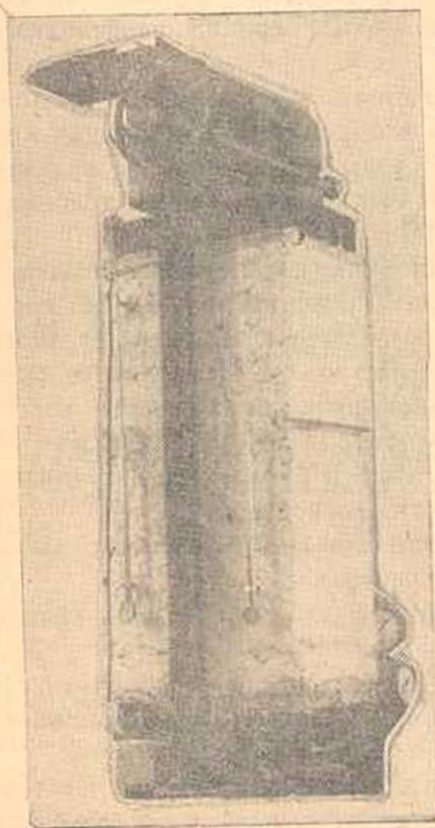


Рис. 2. Испытание кладки мидис на 200-тонном прессе.



Таблица 2

Результаты испытания раствора в возрасте 28 суток

| №№<br>образцов<br>кладки | Раствор под лопату        |                        |                                   | Раствор под заливку       |                        |                                   |
|--------------------------|---------------------------|------------------------|-----------------------------------|---------------------------|------------------------|-----------------------------------|
|                          | Объемный<br>вес           | Прочность<br>на сжатие | Прочность<br>на растя-<br>жение   | Объемный<br>вес           | Прочность<br>на сжатие | Прочность<br>на растя-<br>жение   |
|                          | $\gamma$ т/м <sup>3</sup> | R кг/см <sup>2</sup>   | R <sub>p</sub> кг/см <sup>2</sup> | $\gamma$ т/м <sup>3</sup> | R кг/см <sup>2</sup>   | R <sub>p</sub> кг/см <sup>2</sup> |
| 1                        | 1,40                      | 13                     | 2,5                               | 1,36                      | 7                      | 2,0                               |
| 2                        | 1,37                      | 15                     | 4,5                               | 1,37                      | 7                      | 4,5                               |
| 3                        | 1,35                      | 16                     | 3,0                               | 1,26                      | 8                      | 3,5                               |
| 4                        | 1,40                      | 24                     | 7,5                               | 1,28                      | 8                      | 4,0                               |
| 5                        | 1,40                      | 17                     | 4,0                               | 1,32                      | 11                     | 3,5                               |
| 6                        | 1,42                      | 21                     | 5,5                               | 1,32                      | 10                     | 3,5                               |
| 7                        | 1,40                      | 13                     | 2,5                               | 1,36                      | 7                      | 2,0                               |
| 8                        | 1,37                      | 15                     | 4,5                               | 1,37                      | 7                      | 4,5                               |
| 9                        | 1,35                      | 16                     | 3,0                               | 1,26                      | 8                      | 3,5                               |
| 10                       | 1,40                      | 24                     | 7,0                               | 1,28                      | 8                      | 4,0                               |
| 11                       | 1,48                      | 22                     | 5,5                               | 1,32                      | 15                     | 5,0                               |
| 12                       | 1,42                      | 22                     | 5,5                               | 1,33                      | 14                     | 4,5                               |

Примечание: В таблице приведены средние данные по трем испытаниям.

Таблица 3

Прочность раствора в возрасте 28 и 90 суток

| № №<br>образцов кладки | Возраст раствора | Прочность рас-<br>твора под лопату | Прочность рас-<br>твора под заливку |
|------------------------|------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
|                        | суток            | R кг/см <sup>2</sup>               | R кг/см <sup>2</sup>                |
| 7                      | 28               | 13                                 | 7                                   |
| 8                      |                  | 15                                 | 7                                   |
| 9                      |                  | 16                                 | 8                                   |
| Среднее из 9<br>опытов |                  | 15                                 | 7                                   |
| 7                      | 90               | 16                                 | 8                                   |
| 8                      |                  | 14                                 | 7                                   |
| 9                      |                  | 16                                 | 7                                   |
| Среднее из 9<br>опытов |                  | 15                                 | 7                                   |

Примечание: В таблице приведены средние данные по трем испытаниям.

Таблица 4

Прочность бутобетона под заливку в возрасте 28 и 90 суток

| № №<br>Образцов        | Возраст | Объемный вес              | Прочность<br>на сжатие |
|------------------------|---------|---------------------------|------------------------|
|                        | суток   | $\gamma$ т/м <sup>3</sup> | R кг/см <sup>2</sup>   |
| а                      | 28      | 1,40                      | 24                     |
| б                      |         | 1,34                      | 17                     |
| в                      |         | 1,38                      | 18                     |
| Среднее из 9<br>опытов |         | 1,37                      | 20                     |
| а                      | 90      | 1,38                      | 27                     |
| б                      |         | 1,34                      | 20                     |
| Среднее из 6<br>опытов |         | 1,36                      | 23                     |

Примечание: В таблице приведены средние данные по трем испытаниям.

Проведенные нами опыты над кубиками и восьмерками из раствора и бутобетона, изготовленных и испытанных по описанной выше методике, дают нам возможность отметить следующее:

а) испытание контрольных кубиков с размерами сторон  $7 \times 7 \times 7$  см из легкого раствора состава 1:2, 3:11 (по объему) пластичной консистенции в возрасте 28 суток показывает, что раствор относится к марке 15;

б) прочность раствора в возрасте 90 суток незначительно отличается от прочности раствора в возрасте 28 суток, т. е. для кубика с размерами сторон 7 см от возраста 28 суток до 90 суток нарастания прочности раствора не замечается;

в) прочность на сжатие кубиков  $7 \times 7 \times 7$  см из раствора литой консистенции два раза ниже, чем прочность кубиков из того же раствора, но пластичной консистенции;

г) прочность восьмерок на растяжение из раствора пластичной консистенции равна в среднем 0,25 прочности кубиков на сжатие из того же раствора с колебанием от 0,20 до 0,30. Прочность восьмерок из раствора литой консистенции на растяжение несколько ниже, чем прочность восьмерок из того же раствора, но пластической консистенции;

е) испытание бутобетона на туфовом щебне (хибар) и растворе литой консистенции в возрасте 28 суток показывает прочность кубиков с размерами  $20 \times 20 \times 20$  см на сжатие 20 кг/см<sup>2</sup>. Нарастание прочности бутобетонных кубиков от возраста 28 суток до 90 суток составляет 15%.

Результаты испытаний образцов кладки мидис сведены в таблицу 5.



Таблица 5

| Тип<br>кладки           | № №<br>образцов<br>кладки | Объемный<br>вес кладки | Прочность<br>кладки | Начало по-<br>явления<br>трещин в<br>кладке | Упругая ха-<br>рактери-<br>стика<br>кладки | Начальный<br>модуль уп-<br>ругости | Сжимае-<br>мость<br>кладки       | Влажность<br>раствора в<br>кладке |
|-------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
|                         |                           | $\gamma \text{ т/м}^3$ | $R \text{ кг/см}^2$ | $\Sigma \text{ тр/R}$                       | $\alpha$                                   | $E_0 \text{ кг/см}^2$              | $\epsilon_{0, \text{ р. мм/мм}}$ | %                                 |
| Возраст кладки 1 день   |                           |                        |                     |                                             |                                            |                                    |                                  |                                   |
| В                       | 20                        | 1,58                   | 9,5                 | 0,17                                        | 250                                        | 2400                               | 9,20                             | —                                 |
|                         | 21                        | 1,72                   | 12,0                | 0,18                                        | 130                                        | 1600                               | 17,70                            | —                                 |
|                         | Среднее<br>из двух        | 1,70                   | 10,5                | 0,17                                        | 170                                        | 1800                               | 13,50                            | —                                 |
| Возраст кладки 28 суток |                           |                        |                     |                                             |                                            |                                    |                                  |                                   |
| А                       | 1                         | 1,49                   | 14,5                | 0,75                                        | 1070                                       | 15500                              | 2,15                             | 17                                |
|                         | 2                         | 1,55                   | 14,0                | 0,79                                        | 1150                                       | 16100                              | 2,00                             | 14                                |
|                         | 3                         | 1,56                   | 15,5                | 0,69                                        | 700                                        | 10900                              | 3,29                             | 16                                |
|                         | Среднее<br>из трех        | 1,53                   | 14,5                | 0,74                                        | 900                                        | 13000                              | 2,56                             | —                                 |
| В                       | 4                         | 1,50                   | 16,0                | 0,66                                        | 890                                        | 14200                              | 2,59                             | 12                                |
|                         | 5                         | 1,54                   | 14,5                | 0,75                                        | 880                                        | 12800                              | 2,62                             | 24                                |
|                         | 6                         | 1,58                   | 16,0                | 0,66                                        | 750                                        | 12000                              | 3,07                             | 22                                |
|                         | Среднее<br>из трех        | 1,54                   | 15,5                | 0,69                                        | 830                                        | 12900                              | 2,77                             | —                                 |
| А и В                   | Среднее<br>из шести       | 1,54                   | 15,0                | 0,72                                        | 850                                        | 12800                              | 2,71                             | 18                                |
| Возраст кладки 90 суток |                           |                        |                     |                                             |                                            |                                    |                                  |                                   |
| А                       | 7                         | 1,53                   | 16,5                | 0,65                                        | —                                          | —                                  | —                                | —                                 |
|                         | 8                         | 1,47                   | 17,0                | 0,81                                        | 1100                                       | 18700                              | 2,09                             | —                                 |
|                         | 9                         | 1,50                   | 18,5                | 0,60                                        | 1050                                       | 19400                              | 2,19                             | —                                 |
|                         | Среднее<br>из трех        | 1,50                   | 17,5                | 0,69                                        | 1090                                       | 19100                              | 2,11                             | —                                 |
| В                       | 10                        | 1,51                   | 19,0                | 0,65                                        | 1400                                       | 26600                              | 1,64                             | —                                 |
|                         | 11                        | 1,48                   | 19,0                | 0,71                                        | 1050                                       | 20000                              | 2,19                             | —                                 |
|                         | 12                        | 1,53                   | 17,5                | 0,79                                        | 1100                                       | 19300                              | 2,09                             | —                                 |
|                         | Среднее<br>из трех        | 1,51                   | 18,5                | 0,72                                        | 1140                                       | 21100                              | 2,02                             | —                                 |
| А и В                   | Среднее<br>из шести       | 1,50                   | 18,0                | 0,70                                        | 1100                                       | 19800                              | 2,09                             | —                                 |

Рис. 3, 4 и 5 иллюстрируют характер разрушения кладки мидис при ее испытании на сжатие.

Анализ результатов испытания показывает, что кладки мидис типа А и типа В имеют одинаковый объемный вес. Прочность кладки мидис из туфа прочностью  $100 \text{ кг/см}^2$  и раствора марки 15 в возрасте 28 суток в среднем равна  $15,0 \text{ кг/см}^2$  с колебанием от  $14,0$  до  $16,0 \text{ кг/см}^2$ , а в возрасте 90 суток —  $18,0 \text{ кг/см}^2$  с колебанием от  $16,5$  до  $19,0 \text{ кг/см}^2$ . Нарастание прочности кладки от возраста 28 суток до 90 суток составляет  $20\%$ .

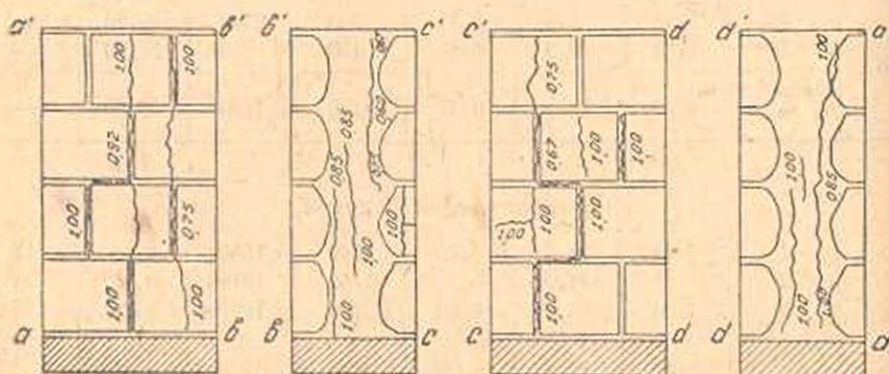


Рис. 3. Характер разрушения кладки образца № 9. На чертеже указаны величины  $\frac{\Sigma}{R}$ .

При одном и том же возрасте замечается повышение прочности кладки при повышении прочности раствора. Например, при повышении прочности раствора от  $13$  до  $24 \text{ кг/см}^2$  прочность кладки повысилась от  $14$  до  $16 \text{ кг/см}^2$  в возрасте 28 суток и от  $16,5$  до  $19 \text{ кг/см}^2$  в возрасте 90 суток.

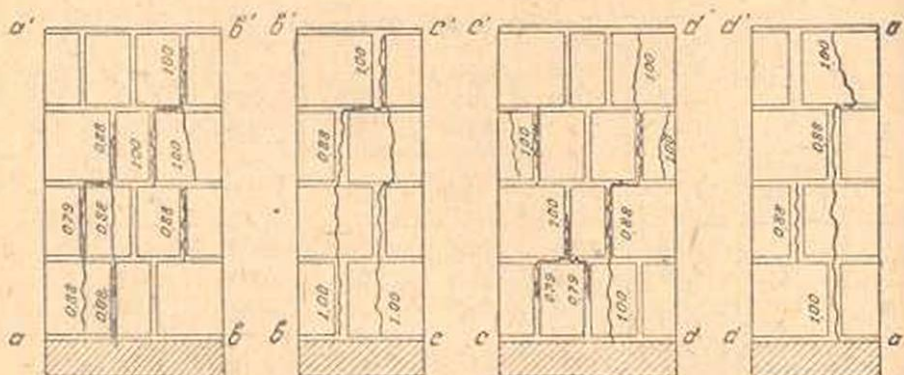


Рис. 4. Характер разрушения кладки образца № 12. На чертеже указаны величины  $\frac{\Sigma}{R}$ .



Сопоставление полученных из опытов величин прочности кладки мидис с данными У-57-43 [9] показывает, что прочность кладки мидис на сжатие выше, чем прочность, принятая в нормах.

Прочность кладки мидис типа А и прочность кладки типа В в возрасте 28 и 90 суток почти одинакова.

Первые, видимые невооруженным глазом, трещины в кладке мидис появляются почти при одинаковых величинах  $\frac{\sigma_{тр}}{R}$  как в возрасте 28 суток, так и в возрасте 90 суток. Как правило, трещины вертикальные и впервые появляются или в растворе бутобетона (тип кладки А), или в вертикальных швах (тип кладки В), при напряжении в кладке в среднем  $0,70 R$  с колебанием от  $0,60 R$  до  $0,80 R$ . Трещины в камне появляются после образования трещин в растворе при очень высоких напряжениях в кладке, близких к пределу прочности на сжатие. Трещины в камне появляются при напряжении в кладке  $0,80-1,00 R$ .

Результаты испытания показывают, что имеется несоответствие между ростом прочности кладки мидис в период от возраста 28 до 90 суток и отсутствием роста прочности раствора в том же периоде. Прекращение роста прочности раствора в кубиках  $7 \times 7 \times 7$  см в возрасте 28 суток подтверждается также другими опытами [2].

Опытные данные показывают необходимость изменения принятой методики определения прочности раствора на пористых заполнителях (туфовый песок, пемзовый песок).

Как показали опыты, процент влаги раствора в кубиках размерами  $7 \times 7 \times 7$  см в возрасте 28 суток приближается к нулю. Надо полагать, что раствор в этих кубиках на 28 сутки обезвоживается полностью; поэтому и прекращается дальнейший процесс твердения раствора.

Образцы раствора, взятые из ядра испытанной нами кладки мидис, имели влажность от 17 до 22% (табл. 5). Это показывает, что процесс твердения раствора в кладке может продолжаться и после 28 суток, что и подтверждается опытами.

Рис. 6-8 характеризуют деформационные свойства кладки Известня III, № 7-40



Рис. 5. Характер разрушения кладки образца 11.

мидис при сжатии. Здесь продольные относительные деформации выведены как средние из показаний четырех деформометров.

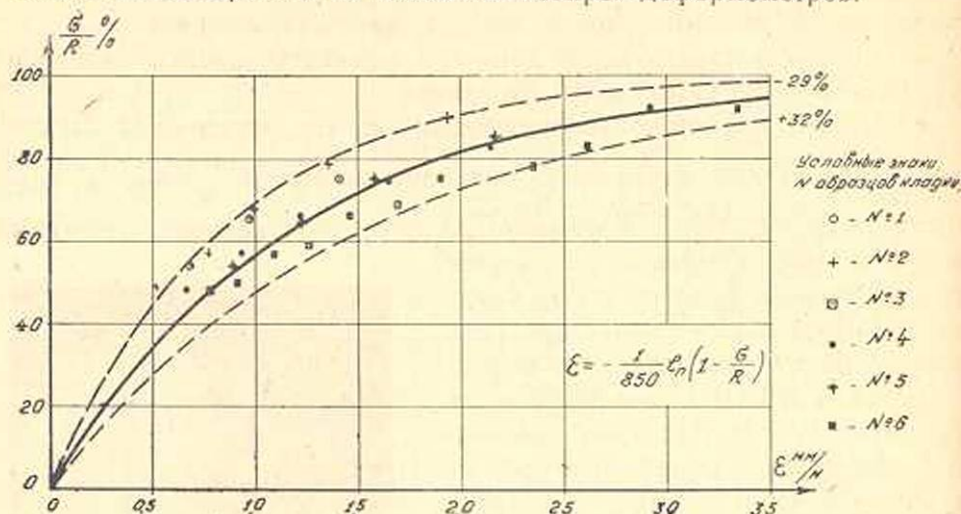


Рис. 6. Относительные деформации кладки мидис при сжатии в возрасте 28 суток.

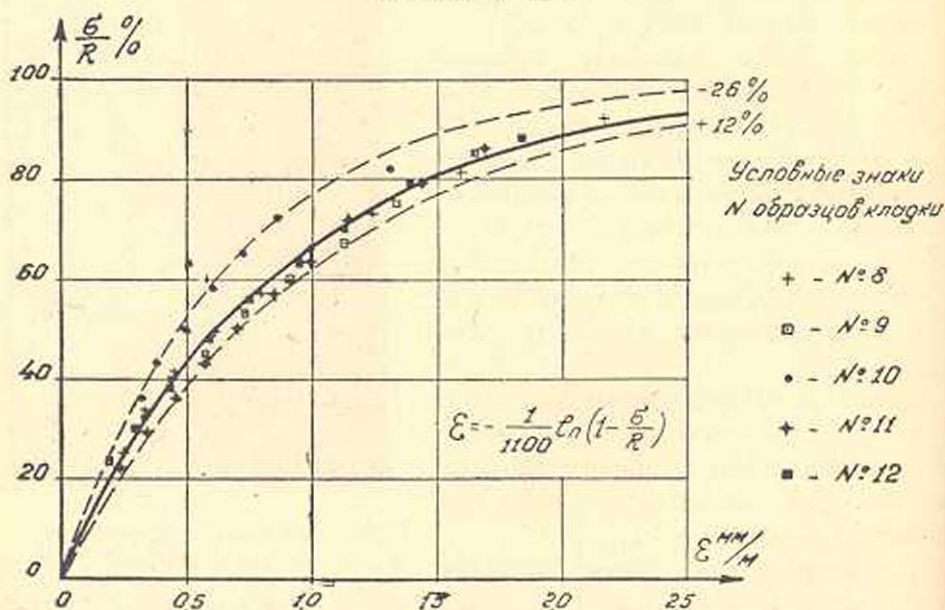


Рис. 7. Относительные деформации кладки мидис при сжатии в возрасте 90 суток.

Анализ результатов испытания показывает, что:

а) относительные деформации каждого в отдельности образца кладки мидис, а также средние из деформаций для группы образцов с достаточной точностью подчиняются логарифмическому закону  $\epsilon = -\frac{1}{\alpha} \ln\left(1 - \frac{\sigma}{R}\right)$ ; в этом случае действительный модуль



упругости  $E = E_0 \left(1 - \frac{\sigma}{R}\right)$ ; последняя аналогична формуле Л. И. Овнищика [6], предложенной для кирпичной кладки на цементном растворе.

б) Упругая характеристика кладки мидис в возрасте 28 суток в среднем равна 850, с колебанием от 700 до 1150, а в возрасте 90 суток 1100 с колебанием от 1050 до 1400.

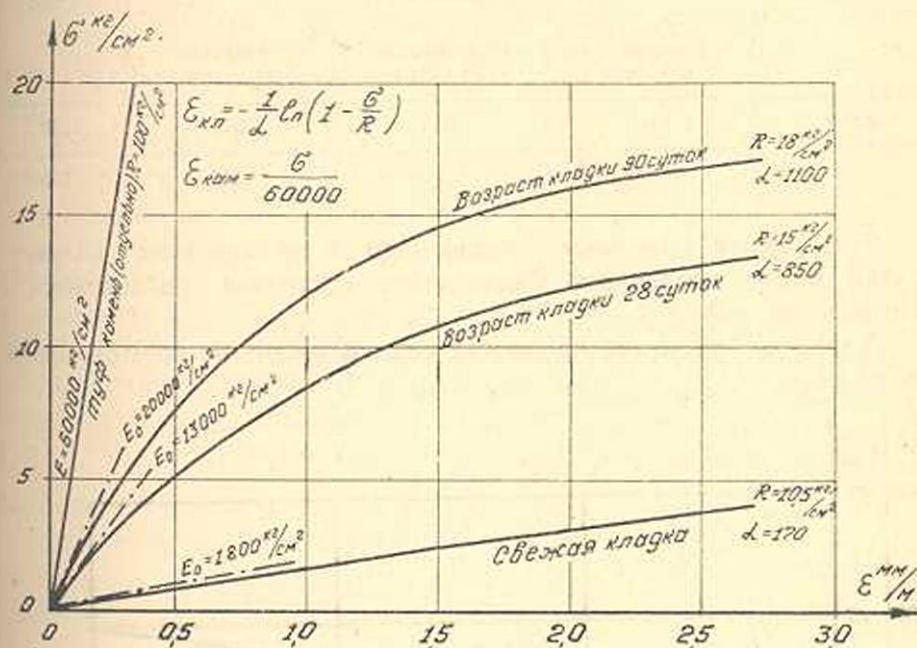


Рис. 8. Относительные деформации кладки мидис и туфового камня при сжатии.

в) Упругие характеристики  $\alpha$ , начальные модули упругости  $E_0$  и предельные сжимаемости  $\varepsilon_{0,9R}$  кладки мидис типа А и типа В незначительно отличаются друг от друга.

г) Деформируемость кладки мидис с увеличением ее возраста уменьшается. Величина упругой характеристики кладки мидис с повышением прочности кладки на 20% в период от 28 суток до 90 суток повышается от 850 до 1100, т. е. на 29%.

д) Принятые в У-57-43 [9] величины упругих характеристик для кладки мидис явно занижены. Для кладки мидис на легких растворах марки 15 величина упругой характеристики принята равной 500. Опыты показывают, что в возрасте 90 суток в среднем  $\alpha=1100$  с колебанием от 1050 до 1400.

Для сравнения деформаций кладки в разных возрастах с деформациями туфа нами составлен график (рис. 8). Нетрудно заметить, что при одинаковых напряжениях кладка мидис деформируется несравненно больше, чем туф.

Сопоставление предельной сжимаемости туфа, примененного в наших опытах с предельной сжимаемостью кладки мидис, приводится в таблице 6.

Таблица 6

| Измеритель | Сжимаемость ±0,9R         |                        |                        | Туфа |
|------------|---------------------------|------------------------|------------------------|------|
|            | Кладки мидис              |                        |                        |      |
|            | В однодневном<br>возрасте | В возрасте<br>28 суток | В возрасте<br>90 суток |      |
| мм/м       | 13,5                      | 2,7                    | 2,1                    | 1,50 |
| %          | 900                       | 180                    | 140                    | 100  |

По данным таблицы видно, что с увеличением возраста кладки мидис предельная сжимаемость последней приближается к сжимаемости туфа.

Характер изменения прочности кладки мидис во времени показан на рис. 9.

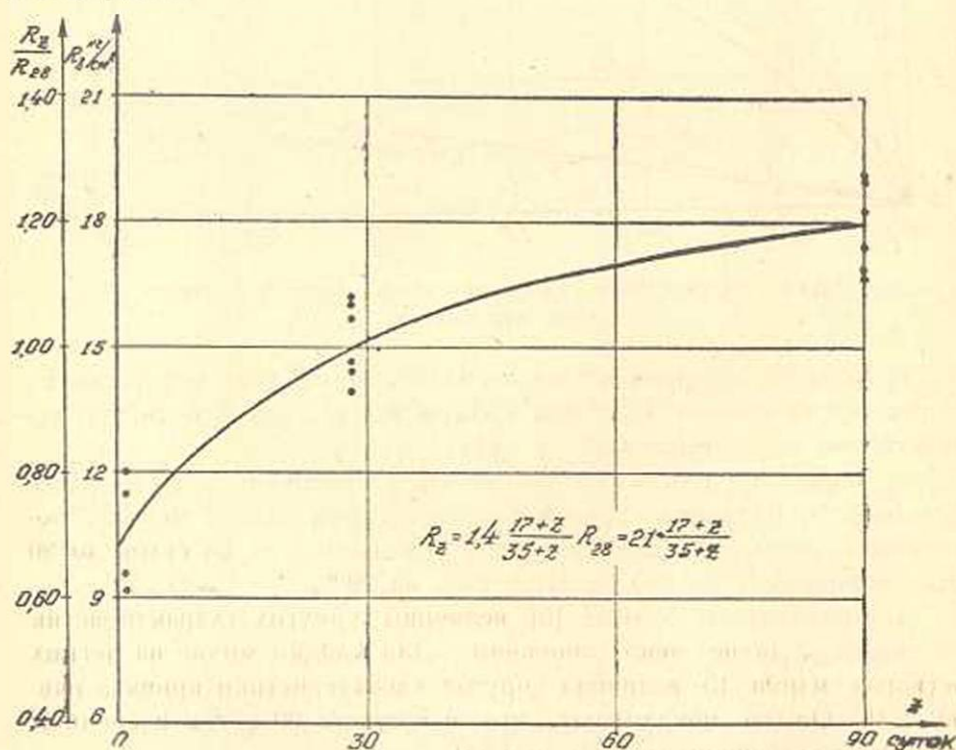


Рис. 9. Влияние возраста на прочность кладки мидис.



## В ы в о д ы

Произведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Прочность кладки мидис из туфа прочностью  $100 \text{ кг/см}^2$  и легкого раствора марки 15 в возрасте 28 суток равна  $15 \text{ кг/см}^2$ , а в возрасте 90 суток —  $18 \text{ кг/см}^2$ .

2. Упругая характеристика кладки мидис на легком растворе марки 15 в возрасте 28 суток равна 850, а в возрасте 90 суток — 1100.

3. При статическом сжатии кладка мидис с тычковыми камнями имеет такую же прочность как и кладка мидис без тычковых камней.

4. Принятые в У-57-43 [9] прочность и упругая характеристика кладки мидис из камня марки 100 и легкого раствора марки 15 не подтверждаются опытами.

В настоящее время автором статьи ведутся опыты по изучению прочности и деформационных свойств кладки мидис в зависимости от изменения прочности раствора и ширины постелей камня, а также рекогносцировочные опыты по изучению кладки из естественных камней правильной формы, полученные механической обработкой. Автор выражает благодарность канд. техн. наук В. В. Пинаджяну за ценные указания, данные ему при выполнении настоящей работы.

Институт Строительных Материалов и Сооружений  
Академии Наук Армянской ССР.

Поступило 8 VII 1950

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Акопов А. А., Акопов Р. В., Касьян М. В., Тер-Азарьев И. А. — Механическая обработка камня резанием. Отчет. АИС, 1950.
2. Аракелян А. А. — Проектирование состава раствора на базе местных материалов. Отчет. АИС, 1949.
3. Агагорцян Э. А. — Армирование туфовой кладки. (Сб. докл. на Зак. конф. по строительству). Ереван, 1942.
4. И-5-49. АИС. — Инструкция по применению кладки мидис в сейсмических районах Армянской ССР. Ереван, 1949.
5. И-7-49. МСПТИ — Нормы проектирования каменных конструкций. Москва, 1949.
6. Онищук Л. И. — Прочность и устойчивость каменных конструкций. Москва, 1937.
7. Седракян Л. Г. — Исследование физ.-мех. свойств естественных камней Арм. ССР. Отчет. АИС, 1949.
8. Степанян В. А. — Нормальное сцепление раствора с камнем при применении туфового песка. Отчет. АИС, 1950.
9. У-57-43. Наркомстрой — Указания по проектированию и применению каменных и армокаменных конструкций. Москва, 1943.
10. Чураян А. Л. — Исследование сейсмостойкости кладки облицовочными рядами. Тр. бюро зитисейсм. строительства АН Груз. ССР. Тбилиси, 1945.
11. Шагинян С. А. — Экспериментальное исследование прочности и деформационных свойств кладки мидис. Отчет. АИС, 1950.

## Ս. Ս. Շահինյան

## ՄԻԴԻՍ ՇԱՐՎԱԾՔԻ ՓՈՐՁԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

## Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Անդրկովկասի արդյունաբերական և քաղաքացիական շինարարություններում միգրիս անվան տակ լայն կիրառում ունեն հոսանքային շարվածքները: Մինչև հիմա բացակայում են այդ տիպի շարվածքների կրողունակությունը և ղեկորմացիոն հատկությունները հիմնավորվող փորձնական ավյալները: Աշխատանքում բերված են 16 նմուշների ( $50 \times 70 \times 125$  սմ) վրա կատարած փորձնական հետազոտությունների արդյունքները: Պարզված է, որ սեղմման ժամանակ լայնադիր քարեր ունեցող միգրիս շարվածքի կրողունակությունը «15» մարկայի շաղախի դեպքում հավասար է լայնադիր քարեր չունեցող միգրիսի կրողունակությանը: Փորձերը ցույց են տալիս, որ «15» մարկայի շաղախ ունեցող միգրիս շարվածքի առաձգականության գործակիցները 1,5—2 անգամ ավելի են «Մ-57-43»-ով սրված գործակիցներից: Պարզվել է, որ քարի շարվածքի առաձգականություն մոգուլը որոշելու համար արված է. Ի. Օնիշչիկի բանաձևը ճիշտ է նաև միգրիս շարվածքի համար:



СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

К. С. Карапетян

**Экспериментальное исследование усадки туфобетона**

Физическая природа усадки бетона раскрыта недостаточно в связи с недостаточной изученностью многочисленных факторов, обуславливающих это явление. Опыты позволили установить, что усадка и разбухание бетона зависят в основном от деформационных свойств цементного камня: заполнитель в бетоне представляет жесткий скелет, уменьшающий усадку цементного раствора. В армированном бетоне усадка и разбухание проявляются в значительно меньшей мере, нежели в растворе и в неармированном бетоне. При всех равных условиях абсолютная величина разбухания бетона, твердеющего в воде, меньше абсолютной величины усадки бетона, твердеющего на воздухе. Интенсивность деформации от усадки (разбухания) с течением времени постепенно затухает.

В Армении имеются богатейшие месторождения туфа и пемзы, широко применяемых в Закавказье в качестве заполнителя в легкобетонных и легкожелезобетонных конструкциях.

Однако деформационные свойства легкого бетона и железобетона изучены в недостаточной мере.

Экспериментальные исследования усадки и ползучести керамзитобетона и пемзобетона производились А. П. Коровкиным [1], М. З. Симоновым [2], А. И. Вагановым [3], З. А. Ацагорцяном [4] и др. Насколько нам известно, деформационные свойства туфобетона почти не изучены. В этом направлении Г. Д. Цискрели были произведены рекогносцировочные опыты [5].

В Институте Стройматериалов и Сооружений Академии Наук Армянской ССР с 1948 года было начато систематическое экспериментальное исследование объемных изменений туфобетона и пемзобетона. Ниже приводятся краткое описание и результаты опытов 1948 г. по изучению усадочных деформаций туфобетона. Характеристика изготовленных в 1948 г. образцов для изучения усадочных деформаций приводится в таблице 1.

Опыты производились над 17 образцами из туфобетона и четырьмя эталонными образцами из обычного (тяжелого) бетона. Образцы квадратного сечения  $15 \times 15$  см, высотой 60 см.

Одновременно для каждой серии образцов изготавливались контрольные бетонные кубики:  $20 \times 20 \times 20$  см. Проектирование состава

Таблица 1.

| Серия образцов | Вид бетона | Состав бетона (по весу) | Расход цемента на $m^3$ бетона в кг | Объемн. вес свежеуложенного бетона в $t/m^3$ | Объемн. вес бетона в возрасте 28 дн. в $t/m^3$ | Кол-во, призм $15 \times 15 \times 60$ см | Кубиковая прочность на сжатие R 28 в $kg/cm^2$ | Способ приготовления бетона |
|----------------|------------|-------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------|
| I—48           | Обычный    | 1:3,3:4,6               | 257                                 | 2,58                                         | 2,29                                           | 4                                         | 115                                            | Вручную                     |
| II—48          | Туфобетон  | 1:1,85:2,75             | 264                                 | 1,88                                         | 1,61                                           | 4                                         | 129                                            | Бетономеш.                  |
| III—48         | Туфобетон  | 1:1,6:2,3               | 303                                 | 1,85                                         | 1,64                                           | 8                                         | 163                                            | Вручную                     |
| IV—48          | Туфобетон  | 1:1,6:2,3               | 305                                 | 1,87                                         | 1,76                                           | 5                                         | 188                                            | Бетономеш.                  |

туфобетона производилось по методу В. М. Худавердяна [9].

Инертные для туфобетонных образцов были изготовлены из туфа Аринджского карьера (Ереван). Испытание контрольных кубиков показало, что прочность примененного туфа на сжатие колебалась в пределах 40—80  $kg/cm^2$ ; водопоглощаемость туфа составляла 24%. Объемный вес туфового щебня составлял 0,78  $t/m^3$ , при объеме пустот 44%.

В таблице 2 приводится гранулометрический состав туфового щебня.

Таблица 2.

|                                    |     |    |    |   |
|------------------------------------|-----|----|----|---|
| Размеры отверстий сит в свету в мм | 40  | 20 | 10 | 5 |
| Проходит сквозь сито в % по весу   | 100 | 59 | 18 | 0 |

Песок был изготовлен из того же туфа, что и щебень. Объемный вес туфового песка 1,05  $t/m^3$ .

В таблице 3 приводится гранулометрический состав туфового песка.

Таблица 3.

|                                    |     |     |     |     |     |      |
|------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Размеры отверстий сит в свету в мм | 5   | 2,5 | 1,2 | 0,6 | 0,3 | 0,15 |
| Проходит сквозь сито в % по весу   | 100 | 86  | 75  | 62  | 54  | 42   |

В качестве крупного заполнителя для обычного бетона был при-



менен базальтовый щебень из карьера Ереванского асфальто-бетонного завода № 1, в качестве мелкого заполнителя — кварцевый песок Арташатского карьера объемным весом  $1,55 \text{ т/м}^3$ .

В экспериментальной работе для легкого и обычного бетонов был применен портландцемент марки 300 Араратского цементного завода им. С. Орджоникидзе. Распалубка образцов из деревянных форм производилась спустя два дня после бетонирования призм.

Образцы из туфобетона и обычного бетона хранились в одинаковых условиях в помещении, где температура колебалась от  $10$  до  $30^\circ\text{C}$ , а влажность воздуха в пределах  $40\text{--}75\%$ . Для измерения продольных деформаций на образцах были установлены металлические марки на расстоянии  $490 \text{ мм}$  друг от друга (рис. 1).

Деформации бетона измерялись с помощью переносного деформометра системы Максимова с температурным компенсатором. Изменение деформаций бетона производилось с точностью в  $0,02 \text{ мм}$ . Усадочные деформации измерялись в течение года. В таблице 4 приведены опытные величины относительных усадочных деформаций обычного бетона и туфобетона при длительном хранении бетонных образцов на воздухе.

В таблице 5 средние величины относительных усадочных деформаций бетона марки 110, полученные из опытов Института Стройматериалов и Сооружений АН Арм. ССР (АИС),

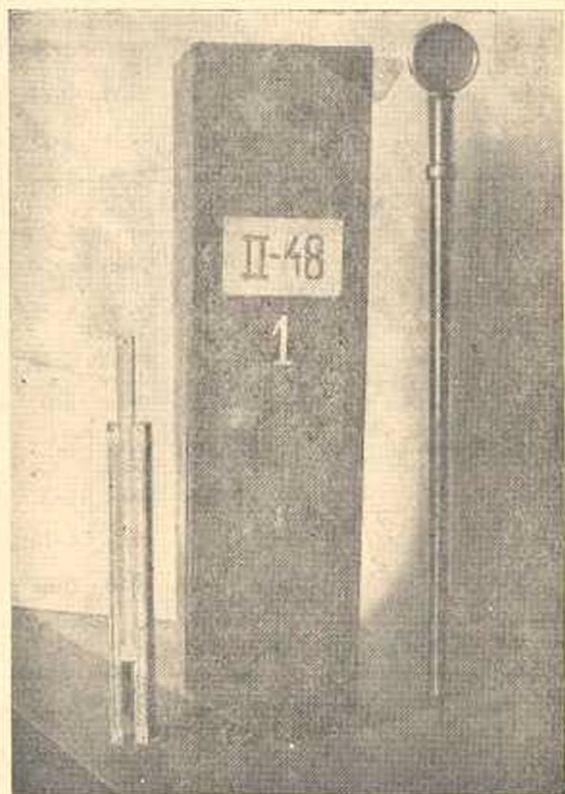


Рис. 1.

сопоставлены с аналогичными величинами, полученными другими исследователями [7] на основании многочисленных опытов.

Сопоставление цифровых данных таблицы 5 позволяет установить, что расхождение между опытными данными АИС и аналогичными данными, приведенными В. А. Бушковым [7], невелико.

На основании изложенного можно сделать вывод, что методика определения усадочных деформаций, принятая АИС как для обыч-

Таблица 4.

| Вид бетона                 | Серия образцов | Номер образцов серии | Относительные усадочные деформации бетона в мм на метр в возрасте: |        |        |        |        |        |        |        |         |
|----------------------------|----------------|----------------------|--------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
|                            |                |                      | 7 дн.                                                              | 14 дн. | 28 дн. | 2 мес. | 3 мес. | 4 мес. | 5 мес. | 6 мес. | 12 мес. |
| Обычный<br>$R_{28}=115$    | I-48           | 1                    | -0.14                                                              | 0.02   | 0.26   | 0.53   | 0.62   | 0.66   | 0.70   | 0.70   | 0.70    |
|                            |                | 2                    | -0.02                                                              | 0.11   | 0.38   | 0.54   | 0.60   | 0.65   | 0.65   | 0.69   | 0.69    |
|                            |                | 3                    | -0.16                                                              | 0.03   | 0.17   | 0.40   | 0.50   | 0.54   | 0.58   | 0.58   | 0.58    |
|                            |                | 4                    | -0.19                                                              | 0.00   | 0.21   | 0.45   | 0.56   | 0.60   | 0.64   | 0.64   | 0.64    |
|                            |                | Средняя              | -0.13                                                              | 0.05   | 0.26   | 0.51   | 0.57   | 0.61   | 0.65   | 0.65   | 0.65    |
| Туфо-бетон<br>$R_{28}=129$ | II-48          | 1                    | 0.10                                                               | 0.21   | 0.42   | 0.76   | 0.82   | 0.82   | 0.82   | 0.82   | 0.82    |
|                            |                | 2                    | -0.03                                                              | 0.07   | 0.31   | 0.70   | 0.74   | 0.74   | 0.74   | 0.74   | 0.74    |
|                            |                | 3                    | 0.06                                                               | 0.12   | 0.38   | 0.77   | 0.82   | 0.82   | 0.82   | 0.82   | 0.82    |
|                            |                | 4                    | -0.05                                                              | 0.07   | 0.24   | 0.75   | 0.75   | 0.75   | 0.75   | 0.75   | 0.75    |
|                            |                | Средняя              | 0.02                                                               | 0.12   | 0.36   | 0.74   | 0.78   | 0.78   | 0.78   | 0.78   | 0.78    |
| Туфо-бетон<br>$R_{28}=163$ | III-48         | 1                    | -0.12                                                              | 0.02   | 0.36   | 0.70   | 0.75   | 0.79   | 0.81   | 0.83   | 0.83    |
|                            |                | 2                    | -0.19                                                              | 0.06   | 0.28   | 0.45   | 0.56   | 0.62   | 0.66   | 0.68   | 0.68    |
|                            |                | 3                    | -0.02                                                              | 0.16   | 0.50   | 0.84   | 0.90   | 0.95   | 0.99   | 1.00   | 1.00    |
|                            |                | 4                    | 0.10                                                               | 0.25   | 0.58   | 0.92   | 0.97   | 1.01   | 1.04   | 1.04   | 1.04    |
|                            |                | 5                    | -0.10                                                              | 0.03   | 0.36   | 0.77   | 0.83   | 0.88   | 0.90   | 0.90   | 0.90    |
|                            |                | 6                    | -0.03                                                              | 0.13   | 0.34   | 0.57   | 0.62   | 0.69   | 0.69   | 0.69   | 0.69    |
|                            |                | 7                    | 0.06                                                               | 0.22   | 0.47   | 0.75   | 0.79   | 0.83   | 0.83   | 0.83   | 0.83    |
|                            |                | 8                    | 0.12                                                               | 0.19   | 0.40   | 0.68   | 0.73   | 0.73   | 0.73   | 0.73   | 0.73    |
|                            |                | Средняя              | -0.02                                                              | 0.12   | 0.41   | 0.71   | 0.77   | 0.81   | 0.83   | 0.84   | 0.84    |
| Туфо-бетон<br>$R_{28}=188$ | IV-48          | 1                    | -0.02                                                              | 0.19   | 0.50   | 0.79   | 0.84   | 0.89   | 0.92   | 0.95   | 0.95    |
|                            |                | 2                    | -0.06                                                              | 0.10   | 0.43   | 0.85   | 0.89   | 0.93   | 0.96   | 0.96   | 0.96    |
|                            |                | 3                    | -0.03                                                              | 0.09   | 0.39   | 0.75   | 0.83   | 0.91   | 0.93   | 0.93   | 0.93    |
|                            |                | 4                    | -0.05                                                              | 0.17   | 0.44   | 0.75   | 0.82   | 0.89   | 0.91   | 0.91   | 0.91    |
|                            |                | 5                    | -0.02                                                              | 0.15   | 0.44   | 0.79   | 0.85   | 0.91   | 0.94   | 0.96   | 0.96    |
|                            |                | Средняя              | -0.04                                                              | 0.14   | 0.44   | 0.79   | 0.85   | 0.91   | 0.93   | 0.94   | 0.94    |

ного бетона так и для туфобетона, достаточно надежна, т. е., другими словами, результаты опытных данных АИС по изучению усадочных деформаций туфобетона сопоставимы с аналогичными данными, по-



Таблица 5

| И с т о ч н и к                                                                                                         | Средние величины относительных усадочных деформаций обычного бетона в мм на метр в возрасте: |        |        |        |        |        |         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
|                                                                                                                         | 28 дн.                                                                                       | 2 мес. | 3 мес. | 4 мес. | 5 мес. | 6 мес. | 12 мес. |
| Опыты АИС для обычного бетона жесткой консистенции $R_{28}=115 \text{ кг/см}^2$ с расходом цемента $257 \text{ кг/м}^3$ | 0,26                                                                                         | 0,51   | 0,57   | 0,61   | 0,65   | 0,65   | 0,65    |
| Опыты других исследователей для обычного бетона жесткой консистенции с расходом цемента $250 \text{ кг/м}^3$            | 0,35                                                                                         | 0,58   | 0,65   | 0,65   | 0,63   | 0,63   | 0,63    |

лученными другими исследователями для обычного бетона. Кривые усадки туфобетона (образцы серии II—48) приведены на рис. 2. Пунктирной линией показаны относительные усадочные деформации для отдельных образцов. Сплошной линией показаны осредненные величины этих деформаций для всех образцов этой серии.

По кривым усадки туфобетона могут быть отмечены:

а) период расширения бетона (3—10 суток).

б) Период усадки бетона с постепенным затуханием усадочных деформаций с течением времени (3—6 месяцев).

в) Период установившегося состояния с постоянной величиной усадки.

На рис. 3 приведены средние кривые усадки всех четырех исследованных серий образцов.

Анализ кривых усадки бетона показывает, что усадочные деформации туфобетона марки 110 на 20—25% больше, чем усадка обычного бетона той же марки при одинаковом расходе цемента. С увеличением расхода цемента

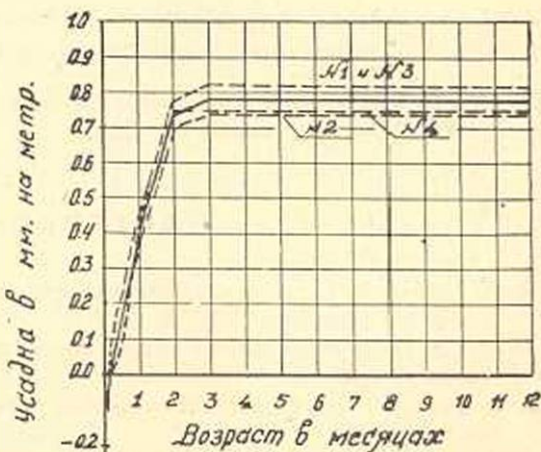
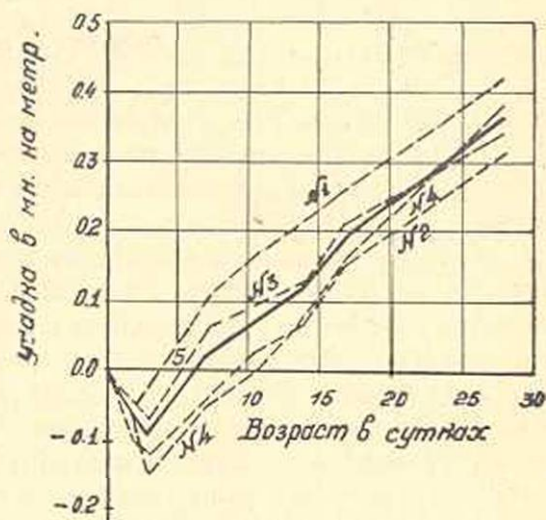
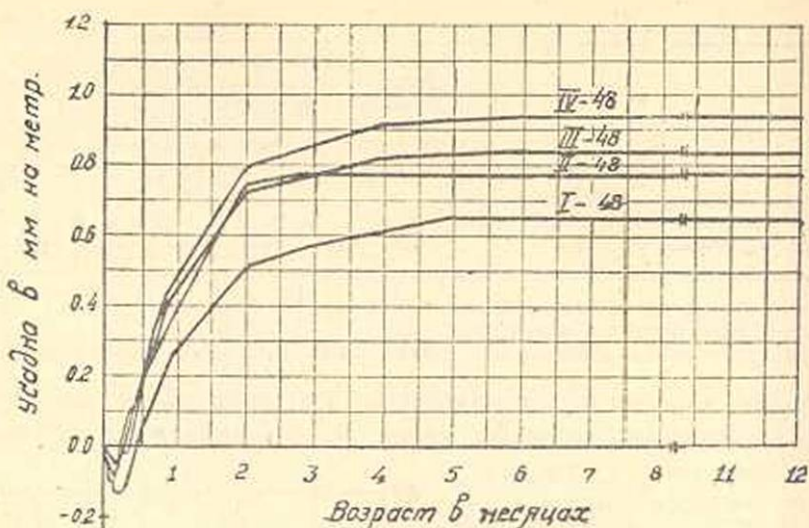


Рис. 2.



усадка туфобетона, как и обычного бетона, растет.

На основании опытов, произведенных в АИС, можно дать следующее объяснение относительно большей усадки туфобетона по сравнению с обычным бетоном.

Туфовые образцы при хранении в воде разбухают и при последующем высыхании дают усадку [5]. При приготовлении бетона на пористом заполнителе последний интенсивно впитывает в себя влагу, в результате чего разбухает. В первый период твердения бетона (как и в обычном бетоне), вследствие экзотермического процесса в теле бетона происходит его разбухание. При дальнейшем твердении бетона происходит усадка цементного камня и одновременно пористого заполнителя. Этим, повидимому, следует объяснить относительно большую усадку туфобетона по сравнению с обычным бетоном, поскольку в последнем разбухание и усадка заполнителя в отличие от пористого заполнителя, незначительна.

Институт Строительных Материалов и Сооружений  
Академии наук Армянской ССР.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. П. Коровкин—Усадка и подзучность керамзитобетона. „Строительство жел. дорог и путевое хозяйство“, № 5—6, 1941.
2. М. З. Симонов—Исследование керамзитобетона. Технический отчет ТНИСГЭИ. Тбилиси, 1940.
3. А. И. Ваганов—Судостроительный керамзитобетон. Тр. УНИИРФ. Вып. III, Москва—Ленинград, 1949.
4. З. А. Ацагорцян—Пемзовый железобетон. Научно-технический отчет АИС. Ереван, 1932.
5. Г. Д. Цискрели—Физико-механические и деформативные свойства легких бетонов. Сб. тр. ТБИИЖТ, в. XIV, Тбилиси, 1947.



6. Я. В. Столяров—Введение в теорию железобетона. Москва—Ленинград. 1941.
7. В. А. Бушков—Железобетонные конструкции, ч. I, Москва, 1940.
8. И. И. Улицкий—Ползучесть бетона. Гостехиздат, Укр. Киев, Львов, 1948.
9. В. М. Худавердян—Метод проектирования составов туфобетона. Ереван, 1950.

#### Կ. Ս. Կարապետյան

### ՏՈՒՖԱԲԵՏՈՆԻ ԿՄԿՄԱՆ ՓՈՐՁԱՌԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆԸ

#### Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հայկական ՍՍՏ ԳԱ Շինանյութերի և Կառուցվածքների Ինստիտուտում, սկսած 1948 թվից, կատարվում են տուֆաբետոնի և պեմզաբետոնի ծավալային փոփոխությունների որոշման սխեմատիկ փորձառական հեռազտություններ: Հոդվածում բերված են տուֆաբետոնի կծկման ղեֆորմացիաների ուսումնասիրությանը վերաբերող՝ 1948 թվի փորձերի համառոտ արդյունքները: № 4 աղյուսակում ղեռնողված են ծանր բետոնի և տուֆաբետոնի կծկման հարաբերական ղեֆորմացիաների մեծությունները՝ բետոնի նմուշներն օդում երկարատև պահելու դեպքում:

Փորձառական արդյունքների վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ «110» մարկայի տուֆաբետոնի կծկման ղեֆորմացիաները 20—25  $\frac{1}{10}$ -ով ղերազանցում են նույն մարկայի ծանր բետոնի կծկման ղեֆորմացիաներից՝ զեմենախի հալասար ծախքի պայմաններում: Յեմենախի ծախքի աճման դեպքում աճում է նաև տուֆաբետոնի կծկումը, ինչպես որ այդ տեղի ունի ծանր բետոնի դեպքում:

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

З. А. Ацагорцян

## Определение оптимальной марки цемента

Развитие цементной промышленности СССР за последние годы привело к значительному расширению ассортимента выпускаемой продукции. Основной вид цемента—портландцемент—выпускается разнообразных марок, с пределом прочности сжатию нормальных образцов от 200 до 600 кг/см<sup>2</sup>.

Имея большой выбор, строители должны уметь в каждом случае определить наиболее рациональную для данных условий марку цемента. При решении этой задачи главным является соображение экономики. Широкое движение за экономию в промышленности и во всем народном хозяйстве обязывает вплотную заняться вопросом экономически наивыгоднейшей марки цемента для бетонных и железобетонных конструкций. Имеющиеся до сих пор в технической литературе соображения по затронутому вопросу являются слишком общими [1, 2, 3].

В настоящей работе мы постарались разобрать вопрос более детально и дать математические выражения для определения оптимальной марки портландцемента для различных видов и марок бетонов.

Введем обозначения:

$S_0$  — стоимость единицы объема бетона,

$K_n$  — цена единицы веса цемента,

$K_m$  — цена единицы объема гравия (щебня),

$K_s$  — цена единицы объема песка,

$c$  — расход цемента по весу на единицу объема бетона,

$g$  — расход гравия (щебня) по объему на единицу объема бетона,

$s$  — расход песка по объему на единицу объема бетона,

$T$  — стоимость труда, затрачиваемого на приготовление, транспорт и укладку бетона.

Тогда для стоимости единицы объема бетона можно записать следующее выражение:

$$S_0 = cK_n + gK_m + sK_s + T. \quad (1)$$

Если соотношение объемов песка и щебня обозначить через  $\alpha$ , коэффициент выхода бетона через  $\beta$  и объемный вес цемента при дозировке через  $\gamma$ , то сумма объемов материалов в единице объема бетона выразится уравнением:



$$\left(\frac{c}{\gamma} + g + s\right)\beta = 1,$$

откуда

$$g = \frac{1 - \beta \frac{c}{\gamma}}{\beta(1 + \alpha)}, \quad (2)$$

$$s = \frac{\left(1 - \beta \frac{c}{\gamma}\right)\alpha}{\beta(1 + \alpha)}. \quad (3)$$

Подставляя значения (2) и (3) в выражение (1), имеем:

$$S_0 = cK_n + \frac{1 - \beta \frac{c}{\gamma}}{\beta(1 + \alpha)} (K_m + \alpha K_n). \quad (4)$$

Для того, чтобы уравнение (4) привести к виду, пригодному для определения оптимальной марки цемента, необходимо расшифровать в нем значение  $c$ , выразив его через марку цемента —  $R_n$ .

Зависимость между расходом цемента и его маркой будет различна для различных видов бетона; поэтому дальнейший разбор вопроса нам необходимо провести раздельно для каждого вида бетона.

#### Тяжелый и легкий бетоны на сравнительно прочных заполнителях

Для обычного тяжелого бетона существует ряд формул зависимости прочности бетона от его состава; пользуясь ими, можно вывести зависимость между расходом цемента и его маркой. Наиболее простой и употребительной из формул прочности бетона является следующая:

$$R = kR_n \left( \frac{c}{w} - 0,5 \right), \quad (5)$$

где  $R$  — марка бетона,

$k$  — коэффициент, принимаемый 0,5 при употреблении гравия и 0,55 при щебне,

$\frac{c}{w}$  — цементно-водный фактор.

Из этой формулы получается

$$c = w \left( \frac{R}{kR_n} + 0,5 \right). \quad (6)$$

Исследованиями по технологии бетона установлено, что расход цемента для получения заданной марки и консистенции бетона не меняется при переходе от гравия к щебню одинаковой грануляции.

Увеличение водопотребности ( $w$ ) во втором случае компенсируется улучшением сцепления цементного теста с крупным заполнителем. Поэтому формула (6) сохранит свою универсальность, если принять  $K=0,5$  и под  $w$  подразумевать водопотребность бетона при употреблении гравия. Тогда

$$c = w \left( 2 \frac{R}{R_u} + 0,5 \right). \quad (6-a)$$

Эта формула дает нам зависимость между расходом и маркой цемента при заданной марке тяжелого бетона и его консистенции. Последняя, как известно, при данных заполнителях, практически однозначно определяется водопотребностью ( $w$ ).

Формула (6-a) применима также к легким бетонам, если прочность заполнителя превышает в определенной степени прочность бетона. В этом случае, как доказано работами АИС [4,6], формула прочности тяжелого бетона сохраняет свою силу и для легких бетонов (в частности туфобетонов).

Подставляя значение расхода цемента по формуле (6-a) в выражение стоимости бетона (4), после преобразований получим:

$$S_6 = \frac{R}{R_u} \cdot 2w \left[ K_u - \frac{K_m + \alpha K_n}{\gamma(1 + \alpha)} \right] + 0,5w \left( K_u - \frac{K_m + \alpha K_n}{1 + \alpha} \right) + \frac{K_m + \alpha K_n}{\beta(1 + \alpha)} + T.$$

Для краткости введя обозначения

$$A = 2w \left[ K_u - \frac{K_m + \alpha K_n}{\gamma(1 + 2)} \right], \quad (7)$$

$$B = 0,5w \left( K_u - \frac{K_m + \alpha K_n}{1 + \alpha} \right) + \frac{K_m + \alpha K_n}{\beta(1 + \alpha)} + T, \quad (8)$$

можем писать

$$S_6 = A \frac{R}{R_u} + B. \quad (9)$$

Формула (9) дает четкую зависимость стоимости тяжелого бетона от марки бетона и марки цемента.

Для экономических подсчетов, в частности для определения оптимальной марки цемента, можно значительно упростить выражения (7) и (8). В этих целях можно принять средние значения следующих величин  $w=0,2 м^3$  (для пластичной консистенции бетона),  $\alpha=0,5$ ,  $\beta=0,62$ ,  $\gamma=1,3 т/м^3$ . При этом, обозначив  $K_m + \alpha K_n = K_0$ , получим (с некоторым округлением):

$$A = 0,4K_u - 0,2K_0, \quad (7a)$$

$$B = 0,1K_u + K_0 + T. \quad (8a)$$



Пользуясь формулой (9) и выражениями (7-а) и (8-а), легко подсчитать стоимость бетона заданной марки при разных марках цемента (от 200 до 600) и таким образом выяснить оптимальную марку цемента, дающую минимальную стоимость бетона. При этом цены на материалы могут быть приняты для каких-либо средних условий строительства, т. к. их изменение практически не влияет на величину оптимальной марки цемента.

### Пемзобетон

Для пемзобетона имеется следующая формула прочности, данная М. З. Симоновым [5]:

$$R = 0,01 \sqrt{R_n} \cdot c + 10.$$

Здесь  $c$  — выражается в  $\text{кг/м}^3$ . Из этой формулы, выразив  $c$  в  $\text{т/м}^3$ , получается

$$c = \frac{R - 10}{10 \sqrt{R_n}}. \quad (10)$$

Подставляя это значение расхода цемента в выражение стоимости бетона (4), имеем:

$$S_6 = \frac{R - 10}{\sqrt{R_n}} \left[ \frac{K_n}{10} - \frac{K_m + \alpha K_n}{10\gamma(1 + \alpha)} \right] + \frac{K_m + \alpha K_n}{\beta(1 + \alpha)} + T.$$

Введя обозначения:

$$A_1 = 0,1K_n - \frac{K_m + \alpha K_n}{10\gamma(1 + \alpha)} \quad \text{и} \quad (11)$$

$$B_1 = \frac{K_0}{\beta(1 + \alpha)} + T, \quad (12)$$

можем писать для пемзобетона

$$S_6 = A_1 \frac{R - 10}{\sqrt{R_n}} + B_1. \quad (13)$$

Значения коэффициентов  $A_1$  и  $B_1$  могут быть конкретизированы аналогично предыдущему случаю:

$$A_1 = 0,1K_n - 0,06K_0 \quad (11-a)$$

$$B_1 = 1,1K_0 + T. \quad (12-a)$$

### Арктикуфобетон

Для бетона на заполнителях, изготовленных из арктического туфа, существует формула прочности, аналогичная приведенной выше для пемзобетона [5]:

$$R = 0,012\sqrt{R_u} \cdot c + 10.$$

Отсюда, если выразить  $c$  в  $\text{т/м}^3$ , то

$$c = \frac{R - 10}{12\sqrt{R_u}}. \quad (14)$$

Пользуясь этим выражением, для стоимости арктифобетона получаем следующую формулу:

$$S_6 = A_2 \frac{R - 10}{\sqrt{R_u}} + B_2, \quad (15)$$

где

$$A_2 = \frac{1}{12} K_u - 0,05K_0, \quad (16)$$

$$B_2 = 1,1K_0 + T. \quad (17)$$

### Туфобетон на сравнительно слабом заполнителе

На основе экспериментальной работы, проведенной над туфобетонами [6], В. М. Худавердяном предложена формула прочности этих бетонов, в которой в качестве параметра фигурирует также прочность заполнителя  $R_0$ :

$$R = \frac{R_0}{3} \left[ \sqrt{1 + 6,6 \frac{R_u}{R_0} \left( \frac{c}{w} - 0,5 \right)} - 1 \right] \quad (18)$$

Эта формула применима для значений  $R_0 \leq 1,5R$ . Когда  $R_0 > 1,5R$ , как указано было выше, может быть применена формула прочности тяжелого бетона. При  $R_0 = 1,5$  формула (18) превращается в формулу (5).

Решая уравнение (18) относительно  $c$ , имеем:

$$c = \left( 1,36 \frac{R^2}{R_u R_0} + 0,91 \frac{R}{R_u} + 0,5 \right) w \quad (19)$$

Подставив это значение в уравнение (4) и принимая те же средние величины, получим формулу:

$$S_6 = A_3 \frac{R^2}{R_u R_0} + B_3 \frac{R}{R_u} + D, \quad (20)$$

где

$$\left. \begin{aligned} A_3 &= 0,29K_u - 0,15K_0 \\ B_3 &= 0,19K_u - 0,1K_0 \\ D &= 0,1K_u + K_0 + T \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

### Минимальный расход цемента

Выбирая оптимальную марку цемента, необходимо учитывать также минимально допустимый расход цемента в бетоне. Если при



оптимальной по формулам марке цемента потребный его расход получается ниже установленного Техническими Условиями минимального предела, то должна быть выбрана марка цемента — соответствующая минимальному расходу. Это будет верхний предел целесообразных марок цемента.

Для каждого вида и марки бетона этот верхний предел будет различен. Его можно определить, исходя из формул: (6), (10), (14) и (19), подставив в них значения минимального расхода цемента, допустимого по ТУ, и расход воды, в зависимости от требуемой консистенции бетона и свойств материалов.

Как известно, ТУ [3] дают величины минимального расхода цемента на  $1 \text{ м}^3$  обычного тяжелого бетона, в зависимости от характера конструкции и способа бетонирования. В таблице 1 приводим эти величины, а также определенные по указанным выше формулам предельные марки цемента (макс  $R_u$ ), выраженные через марку бетона. Макс  $R_u$  даны для бетонов пластичной консистенции, укладываемых без вибрирования, при средней грануляции заполнителей (принимая  $w = 100 \text{ л}$ ). Эти предельные марки цемента могут быть приняты также для бетонов, укладываемых с вибрированием, т. к. при этом уменьшение оптимального расхода цемента сопровождается соответствующим уменьшением потребного количества воды.

Таблица 1

| № п/п | Характер конструкции                                                                                      | Минимальный расход цемента в $\text{кг/м}^3$ |                           | Предельная марка цемента — макс $R_u$ |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|
|       |                                                                                                           | при бетонировании с вибрированием            | при ручной укладке бетона |                                       |
| 1     | Для конструкций, находящихся в непосредственном соприкосновении с водой и подверженных частому замерзанию | 240                                          | 265                       | 2,4R                                  |
| 2     | Для обычных конструкций, не защищенных от атмосферных воздействий                                         | 220                                          | 250                       | 2,7R                                  |
| 3     | Для конструкций, защищенных от атмосферных воздействий                                                    | 200                                          | 220                       | 3,3R                                  |

Для легких бетонов, согласно „Инструкции по применению Норм и Технических Условий проектирования железобетонных 88 конструкций“ (1940), минимальным расходом цемента является  $150 \text{ кг/м}^3$ , при условии наличия суммы пылевидных и цемента не менее  $300 \text{ кг/м}^3$ . Исходя из этого получается:

для пемзобетона

$$\text{макс}R_n = 0,45(R - 10)^2, \quad (22)$$

для арктикуфобетона

$$\text{макс}R_n = 0,31(R - 10)^2, \quad (23)$$

для туфобетона на сравнительно прочном заполнителе (при  $R_0 \geq 1,5R$ ).

$$\text{макс}R_n = 8R, \quad (24)$$

для туфобетона на сравнительно слабом заполнителе (при  $R_0 < 1,5R$ ):

$$\text{макс}R_n = \frac{R}{45} \left( 286 \frac{R}{R_0} + 191 \right). \quad (25)$$

Определяя по приведенным формулам  $\text{макс}R_n$  для легких бетонов, получим следующие значения (таблица 2):

Таблица 2

| Вид легкого бетона              | макс $R_n$ для марок бетона: |      |      |      |
|---------------------------------|------------------------------|------|------|------|
|                                 | 50                           | 70   | 90   | 110  |
| Пемзобетон                      | 710                          | 1600 | —    | —    |
| Арктикуфобетон                  | 494                          | 1110 | 2000 | —    |
| Туфобетон                       |                              |      |      |      |
| при $R_0 \geq 1,5R$             | 400                          | 560  | 720  | 880  |
| при $R_0 = 50 \text{ кг/см}^2$  | 530                          | 920  | 1410 | 2000 |
| при $R_0 = 75 \text{ кг/см}^2$  | 425                          | 712  | 1070 | 1490 |
| при $R_0 = 100 \text{ кг/см}^2$ | —                            | 610  | 896  | 1236 |
| при $R_0 = 125 \text{ кг/см}^2$ | —                            | —    | 794  | 1083 |

Таблицы 1 и 2 дают верхние пределы, которые необходимо учитывать при определении оптимальных марок цемента по нашим формулам.

Для иллюстрации применения выведенных формул ниже приводим расчет оптимальных марок цемента для условий г. Еревана.

Как было сказано выше, изменения стоимости материалов, в зависимости от географического расположения строительства, практически не влияют на величину оптимальной марки цемента. Поэтому полученные нами результаты могут быть обобщены хотя бы для всей Армянской ССР. Для расчетов стоимость материалов принята согласно ценнику, составленному „Коммунпроектom“ (в ценах 1949 г.), и дополнительным калькуляциям, составленным нами.

Стоимость цемента различных марок франко-приобъектный склад для средних условий г. Еревана (городской район) представляется в следующем виде (таблица 3):



Таблица 3

| Марка цемента $R_u$     | 200    | 250    | 300    | 400    | 500    | 600    |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Стоимость цемента $R_u$ | 193—40 | 212—89 | 233—42 | 259—07 | 287—80 | 326—80 |

Значения  $K_0 = K_{ц} + \alpha K_n$ , определенные для различных заполнителей, приведены в табл. 4.

Таблица 4

| Род заполнителя            | $K_0$ |
|----------------------------|-------|
| Пемза                      | 47—23 |
| Туфолава (арктический туф) | 56—93 |
| Туф                        | 41—16 |
| Тяжелые заполнители        | 71—90 |

Среднее значение  $T$ , по нашим калькуляциям, принято для тяжелого бетона и туфобетона 8—50, для пемзобетона и арктиктуфобетона 8—00.

Исходя из указанных цифр, на основе приведенных выше формул (9), (13), (15) и (20), нами произведены расчеты стоимости бетонов на цементе различных марок.

Результаты расчетов приведены в таблицах 5—9.

Таблица 5

Стоимость тяжелого бетона

| Марка цемента<br>Марка бетона | 200   | 250   | 300   | 400          | 500          | 600          |
|-------------------------------|-------|-------|-------|--------------|--------------|--------------|
| 90                            | 128,1 | 127,2 | 127,4 | <b>126,4</b> | 127,3        | 130,5        |
| 110                           | 134,4 | 132,8 | 132,7 | <b>130,8</b> | 131,4        | 134,4        |
| 140                           | 143,8 | 141,3 | 140,6 | 137,5        | <b>137,4</b> | 140,2        |
| 170                           | 153,2 | 149,8 | 148,5 | 144,2        | <b>143,5</b> | 146,0        |
| 200                           | 162,7 | 158,3 | 156,4 | 150,9        | <b>149,5</b> | 151,8        |
| 250                           | 178,4 | 172,5 | 169,5 | 162,1        | <b>159,6</b> | 161,5        |
| 300                           | 194,2 | 186,6 | 182,7 | 173,2        | <b>169,7</b> | 171,2        |
| 400                           | 225,7 | 215,0 | 209,0 | 195,6        | <b>189,9</b> | 190,6        |
| 500                           | 257,2 | 243,4 | 235,4 | 217,9        | <b>210,0</b> | 210,1        |
| 600                           | 288,7 | 271,7 | 261,7 | 240,2        | 230,3        | <b>229,4</b> |

Таблица 6

Стоимость туфобетона на сравнительно прочных заполнителях ( $R_n > 1,5R$ )

| Марка цемента<br>Марка бетона | 200   | 250         | 300   | 400          | 500   | 600   |
|-------------------------------|-------|-------------|-------|--------------|-------|-------|
| 50                            | 86,3  | <b>86,3</b> | 87,2  | 87,5         | 89,1  | 92,5  |
| 70                            | 93,2  | 92,5        | 92,9  | <b>92,3</b>  | 93,4  | 96,6  |
| 90                            | 100,1 | 98,6        | 98,6  | <b>97,1</b>  | 97,7  | 100,7 |
| 110                           | 107,0 | 104,8       | 104,2 | <b>101,8</b> | 101,9 | 104,7 |

Таблица 7

Стоимость туфобетона на сравнительно слабых заполнителях ( $R_0 < 1,5R$ )

| Прочность<br>туфа | Марка<br>бетона | Марка<br>цемента | 200   | 250         | 300   | 400          | 500          | 600   |
|-------------------|-----------------|------------------|-------|-------------|-------|--------------|--------------|-------|
| 50                | 50              |                  | 89,6  | <b>89,4</b> | 90,0  | 89,8         | 91,3         | 94,6  |
| 50                | 70              |                  | 104,9 | 102,8       | 102,5 | <b>100,4</b> | 100,7        | 103,6 |
| 50                | 90              |                  | 124,1 | 120,0       | 118,3 | 113,6        | <b>112,6</b> | 115,0 |
| 50                | 110             |                  | 147,3 | 140,8       | 137,4 | 128,7        | <b>127,0</b> | 128,7 |
| 75                | 70              |                  | 96,7  | 95,7        | 95,8  | <b>94,7</b>  | 95,7         | 98,8  |
| 75                | 90              |                  | 110,6 | 108,0       | 107,2 | 104,3        | <b>104,3</b> | 107,0 |
| 75                | 110             |                  | 127,4 | 122,8       | 120,9 | 115,8        | <b>114,5</b> | 116,8 |
| 100               | 90              |                  | 103,9 | 102,0       | 101,7 | <b>99,7</b>  | 100,1        | 103,5 |
| 100               | 110             |                  | 117,3 | 113,8       | 112,6 | 108,8        | <b>108,3</b> | 110,9 |
| 125               | 110             |                  | 111,1 | 108,5       | 107,6 | 104,7        | <b>104,6</b> | 107,3 |
| 150               | 110             |                  | 107,1 | 104,9       | 104,3 | <b>101,9</b> | 102,1        | 104,9 |

Таблица 8

Стоимость артикуфобетона

| Марка<br>бетона | Марка<br>цемента | 200   | 250   | 300   | 400          | 500   | 600   |
|-----------------|------------------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|
| 50              |                  | 108,2 | 108,3 | 108,6 | <b>108,2</b> | 108,5 | 112,0 |
| 70              |                  | 126,9 | 127,0 | 127,6 | <b>127,0</b> | 127,5 | 132,8 |
| 90              |                  | 145,6 | 145,8 | 146,6 | <b>145,8</b> | 146,4 | 153,5 |

Таблица 9

Стоимость пемзобетона

| Марка<br>бетона | Марка<br>цемента | 200   | 250         | 300   | 400          | 500   | 600   |
|-----------------|------------------|-------|-------------|-------|--------------|-------|-------|
| 35              |                  | 89,1  | <b>89,1</b> | 89,5  | <b>88,8</b>  | 88,9  | 90,4  |
| 50              |                  | 106,6 | 106,6       | 107,3 | <b>105,1</b> | 106,3 | 108,6 |
| 70              |                  | 129,9 | 129,9       | 130,9 | <b>129,1</b> | 129,5 | 133,0 |

Рассмотрение таблиц 1—9 позволяет наглядно видеть оптимальные марки цемента в различных случаях, дающие наименьшую стоимость бетона. При этом, если бетон на различных марках цемента имеет одну и ту же стоимость, предпочтение следует отдавать более высокой марке, приводящей к меньшему количественному расходу цемента, а следовательно и облегчению транспорта. С другой стороны, известно, что повышение марки цемента приводит к уменьшению удельного расхода топлива на его производство [7].

Установив оптимальные марки цемента по расчетам из условия наименьшей стоимости бетона, следует сопоставить их с марками,



вытекающими из условия наименьшего допустимого расхода цемента. Это и сделано в таблице 10, где в последней графе даются реальные оптимальные марки цемента, исходя из совокупности двух условий.

Таблица 10

| Вид бетона                    | Марка бетона                   | Оптимальная марка цемента по формулам | Наибольшая марка цемента из условия допустимого минимума расхода цемента | Реальная оптимальная марка цемента |
|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Тяжелый бетон                 | 90                             | 400                                   | 200—300                                                                  | 200—300                            |
|                               | 110                            | 400                                   | 250—400                                                                  | 250—400                            |
|                               | 140                            | 500                                   | 350—500                                                                  | 300—500                            |
|                               | 170                            | 500                                   | 400—600                                                                  | 400—500                            |
|                               | 200                            | 500                                   | 500—600                                                                  | 500                                |
|                               | 250—550                        | 500                                   | 600                                                                      | 500                                |
|                               | 600                            | 600                                   | 600                                                                      | 600                                |
| Туфобетон при $R_0 \geq 1.5R$ | 50                             | 250                                   | 400                                                                      | 250                                |
|                               | 70                             | 400                                   | 600                                                                      | 400                                |
|                               | 90                             | 400                                   | 600                                                                      | 400                                |
|                               | 110                            | 400                                   | 600                                                                      | 400                                |
| Туфобетон при $R_0 < 1.5R$    | 50                             | 250                                   | 500                                                                      | 250                                |
|                               | а) $R_0 = 50 \text{ кг/см}^2$  | 70                                    | 400                                                                      | 400                                |
|                               |                                | 90                                    | 500                                                                      | 500                                |
|                               |                                | 110                                   | 500                                                                      | 500                                |
|                               | б) $R_0 = 75 \text{ кг/см}^2$  | 70                                    | 400                                                                      | 400                                |
|                               |                                | 90                                    | 500                                                                      | 500                                |
|                               |                                | 110                                   | 500                                                                      | 500                                |
|                               | в) $R_0 = 100 \text{ кг/см}^2$ | 90                                    | 400                                                                      | 400                                |
|                               |                                | 110                                   | 500                                                                      | 500                                |
|                               | г) $R_0 = 125 \text{ кг/см}^2$ | 110                                   | 500                                                                      | 500                                |
|                               | д) $R_0 = 150 \text{ кг/см}^2$ | 110                                   | 400                                                                      | 400                                |
| Арктиктуфобетон               | 50                             | 400                                   | 500                                                                      | 400                                |
|                               | 70                             | 400                                   | 600                                                                      | 400                                |
|                               | 90                             | 400                                   | 600                                                                      | 400                                |
| Пемзобетон                    | 35                             | 400                                   | 300                                                                      | 300                                |
|                               | 50                             | 400                                   | 600                                                                      | 400                                |
|                               | 70                             | 400                                   | 600                                                                      | 400                                |

Анализируя приведенный цифровой материал, приходим к следующим выводам:

1. При тяжелом бетоне до марки 170 оптимальная марка цемента ограничивается условием наименьшего допустимого расхода цемента. Следовательно, в бетонах до марки 170 следует принимать такую марку цемента, которая приводит к расходу цемента не больше допустимого минимума.

Для более высоких марок тяжелого бетона оптимальной является марка цемента 500—600. При этом переход от низких марок цемента к высоким дает значительное удешевление бетона, доходящее до 20% его стоимости.

2. В легких бетонах обычных марок 50—110 оптимальной является марка цемента 400—00. При этом в сравнительно низких марках бетона 50—70 изменение марки цемента не дает ощутимого изменения стоимости бетона, так что может быть принята, собственно говоря, любая марка цемента. При марках же бетона 90—110 выгода применения высокой марки цемента становится уже ощутимой, доходящей до 10—15% стоимости бетона.

Ограничение марки цемента из условия допустимого минимума расхода цемента в легких бетонах имеет место лишь при их марке ниже 50.

Пользуясь приведенной в настоящей статье методикой, можно легко определить оптимальные марки цемента при установлении любых новых государственных цен на цемент. Что касается изменения цен на заполнители, то оно, как было уже указано выше, практически не влияет на величину оптимальной марки цемента.

Институт Строительных Материалов и Сооружений

Академии Наук Армянской ССР.

Поступило 8 VII 1950.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. С. Е. Фрайфельд—Законы стоимости железобетонных конструкций. Харьков, 1935.
2. В. Г. Скрамтаев—Исследование прочности бетона и пластичности бетонной смеси. Москва, 1936.
3. Технические Условия на производство и приемку общестроительных и специальных работ, вып. II, ч. I. Москва—Ленинград, 1940.
4. Э. А. Ацагорян—Туф и пемза в железобетонных конструкциях. Отчет. АИС, 1933.
5. М. Э. Симонова—Конструкции и сооружения из легкого железобетона (Инструкции по проектированию и возведению). Тбилиси, 1937.
6. В. М. Худавердян—Метод проектирования составов туфобетона. Ереван, 1950.
7. Строительная промышленность, № 4, 1948.

#### Չ. Ա. Հաղագրոճյան

### ՑԵՄԵՆՏԻ ՕՊՏԻՄԱԼ ՄԱՐԿԱՅԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ

#### Ա մ փ ո փ ու մ

Ներկայումս արտադրվող ցեմենտի մարկաների /բաղմադանությունը հնարավորություն է տալիս շինարարներին ընտրել կանխիկ պայմանների համար ցեմենտի ամենանպաստավոր մարկան։

Մանրամասն անալիզի հիման վրա հեղինակը տալիս է մաթեմատիկական արտահայտություններ, որոնցով կարելի է որոշել ցեմենտի օպտիմալ մարկան՝ դանադան տեսակի բետոնների համար, այն է՝ (9) սովորական ծանր բետոնի և համեմատաբար ամուր լցիչներով պատրաստված թեթև բետոնի համար, (13)—պեմզաբետոնի, (15) արթիկաուֆաբետոնի համար և (20)—համեմատաբար թույլ լցիչներով պատրաստված տուֆաբետոնի համար։ Բլլուստրացիայի նպատակով բերված թվական հաշիվները ցույց են տալիս, որ Հայկական ՍՍՌ շինարարության պայմաններում թեթև բետոնների համար նպատակավոր է, բնդհանուր առմամբ, ցեմենտի բարձր մարկաների (400—500) գործածությունը։



НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

В. М. Тараян

Меркурометрия как редуктометрический метод  
 объемного анализа

Сообщение I.

На реакциях окисления—восстановления основано большое количество объемно-аналитических методов. В качестве рабочих растворов в этих методах применяются стандартные растворы различных окислителей и восстановителей, причем окислители применяются значительно чаще, так как в обычных лабораторных условиях они сравнительно устойчивее. Растворы сульфата четырехвалентного церия, бихромата, бромата, иодата, метаванадата и гипохлорита зарекомендовали себя, как растворы, не меняющие свой титр при стоянии. Растворы перманганата калия, свободные от  $MnO_2$ , при соблюдении всех требуемых предосторожностей, сохраняются без изменения долгое время.

В отличие от окислителей, растворы восстановителей быстро меняют свой титр и вынуждают сохранять их в особых условиях, что, конечно, затрудняет технику их применения. Большинство из этих восстановителей на воздухе медленно окисляется. Поэтому титрованные растворы сильных восстановителей, например, хлористого титана, хлористой закиси хрома и хлористого олова следует сохранять, а также и титровать ими в атмосфере инертного газа: водорода, азота или двуокиси углерода. По этой причине упомянутые восстановители не являются обычными лабораторными реактивами и применяются только в некоторых специальных случаях технического анализа [1]. Растворы солей двухвалентного железа на воздухе медленно окисляются и также нуждаются в ежедневной проверке их титра.

Вышеизложенное является причиной того, что в практике химического анализа избегают применения метода непосредственного восстановления. Поэтому, когда определяемый ион находится в виде соединения высшей валентности, прибегают к методу предварительного восстановления (редуктор Джонса, жидкие амальгамы, хлористое олово, сероводород или сернистый газ). Затем, завершив предварительное восстановление и удалив избыток восстановителя, определение заканчивают, титруя восстановленный раствор испытуемого вещества стандартным раствором какого-либо окислителя.



Об удобстве непосредственного редуктометрического метода определения говорить не приходится и этим следует объяснить попытки некоторых авторов ввести в практику химического анализа применение устойчивых при обычных лабораторных условиях рабочих растворов. Так, Б. В. Птицын и В. А. Козлов [2] разработали метод количественного определения трехвалентного железа, при помощи аскорбиновой кислоты; С. А. Бабушкин и М. Л. Погребинская [3] применили метод Брэдли и Эдвардса [4] для определения трехвалентного железа титрованным раствором азотнокислой закиси ртути. Еще больший интерес представляет непосредственное определение ряда других ионов переменной валентности. Поэтому, примененный вышеупомянутыми авторами [3,4] нитрат закиси ртути привлек наше внимание. В цитируемых работах совершенно не комментируется механизм реакций, имеющих место при титровании трехвалентного железа одновалентной ртутью. Авторы [3] ограничиваются указанием, что "имеющееся в растворе окисное железо при помощи раствора роданистого аммония переводится в родановый комплекс, который количественно разрушается путем титрования 0,1*n* раствором азотнокислой закиси ртути". На деле механизм реакции, как видно, несколько сложнее. Поэтому в первую очередь необходимо было выяснить — не имеет ли место в случае титрования железа азотнокислой закисью ртути обычный процесс количественного восстановления трехвалентного железа.

Для целей количественного анализа необходимо знать, как направление процесса окисления — восстановления, так и как далеко он протекает. Как известно, первое определяется разностью редоксипотенциалов двух реагирующих систем, а степень продвижения реакции слева направо определяется константой равновесия реакции. Для расчета последней применяется общеизвестная формула:

$$\lg K = \frac{(E_0 - E'_0)n}{0,058}, \quad \text{откуда } K = 10^{\frac{(E_0 - E'_0)n}{0,058}}.$$

Переходя к рассматриваемым системам  $\text{Fe}^{3+} \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}$  и  $2\text{Hg}^{2+} \rightleftharpoons \text{Hg}_2^{2+}$ , мы на первый взгляд должны будем признать, что здесь не имеется никаких предпосылок, как для направления реакции в сторону восстановления  $\text{Fe}^{3+}$  в  $\text{Fe}^{2+}$ , так и для ее количественного течения, так как  $E_0$  для системы  $\text{Fe}^{3+} \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}$  равно 0,76*V*, а  $E_0$  для системы  $2\text{Hg}^{2+} \rightleftharpoons \text{Hg}_2^{2+}$  равно 0,91*V*. И действительно, результаты поставленного нами потенциометрического титрования раствора трехвалентного железа раствором нитрата закиси ртути (в отсутствие роданида) показывают, что никакого восстановления здесь не наблюдается, так как потенциал в течение титрования почти не изменяется (индикаторный электрод — платина), что ясно видно из кривой, приведенной на фиг. 1.

Вслед за тем было произведено то же титрование, только в присутствии роданида аммония (см. кривую на фиг. 2).

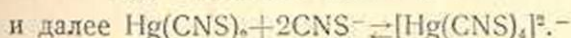
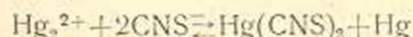
Приведенная кривая имеет вид кривой титрования трехвалент-



ного железа каким-либо восстановителем, с резко выраженным скачком потенциала в эквивалентной точке.

Таким образом, на основании результатов потенциометрического исследования становится несомненным, что при титровании трехвалентного железа нитратом закиси ртути происходит восстановление железа. Однако процесс восстановления последнего становится возможным только в силу присутствия роданида, который служит не только индикатором конца реакции, но и фактором, стимулирующим процесс количественного восстановления железа. Отсю-

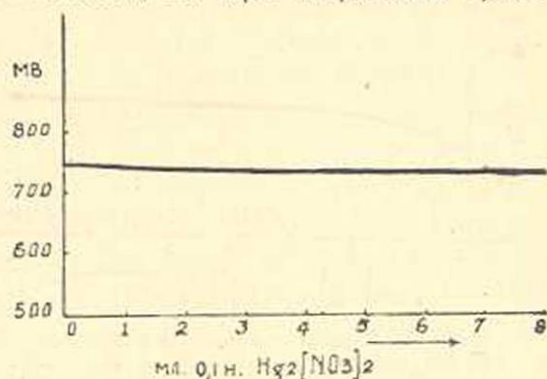
да механизм реакции восстановления трехвалентного железа нитратом закиси ртути следует представить следующим образом: нитрат закиси ртути добавляется к раствору трехвалентного железа, содержащего избыток роданида, в результате чего имеет место следующая реакция:



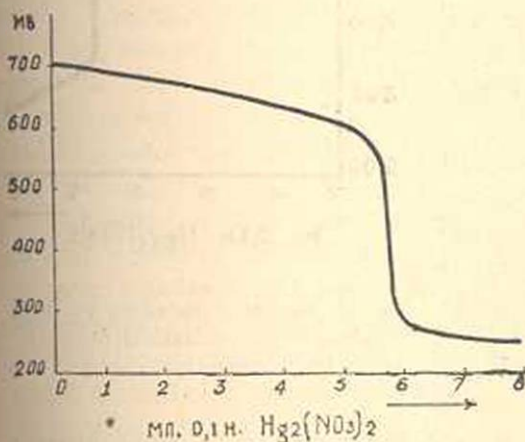
Ртутнороданистый комплексный анион — весьма устойчивое соединение  $\left( K = \frac{[\text{Hg}^{2+}][\text{CNS}^-]^4}{[\text{Hg}(\text{CNS})_4^{2-}]} = 1 \cdot 10^{-22} \right)$  [5], вследствие чего ион двухвалентной ртути практически удаляется из сферы равновесия, а

одновременно образующаяся мелкоизмельченная металлическая ртуть играет роль восстановителя по отношению к иону трехвалентного железа. Последнее подтверждается литературными указаниями [6] о применении металлической ртути в качестве предварительного восстановителя для ряда ионов.

Для дальнейшего, более убедительного, подтверждения механизма реакции

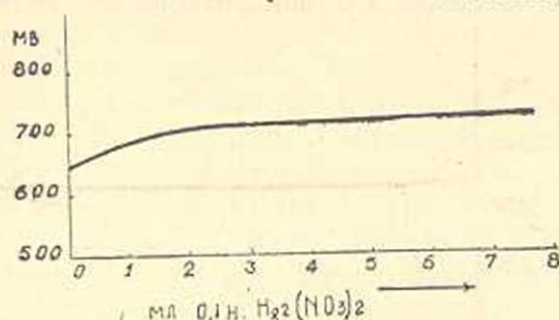


Фиг. 1. Кривая титрования раствора  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 0,1\text{n}$  нитратом закиси ртути



Фиг. 2. Кривая титрования раствора  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 0,1\text{n}$  нитратом закиси ртути (в присутствии роданида)

мы решили испытать титрование какого-либо другого иона переменной валентности раствором нитрата закиси ртути в присутствии и отсутствии роданида. В качестве примера нами была избрана двухвалентная медь. Результаты потенциометрического титрования двух-



Фиг. 3. Кривая титрования раствора  $\text{CuSO}_4$  нитратом закиси ртути

валентной меди нитратом закиси ртути приведены в виде кривых на рис. 3 и 4.

Приведенные кривые свидетельствуют о том, что как и при титровании трехвалентного железа, для восстановления двухвалентной меди в одновалентную, присутствие роданида безусловно не-

обходимо. В данном случае смещению равновесия в желаемую сторону способствуют 2 фактора:

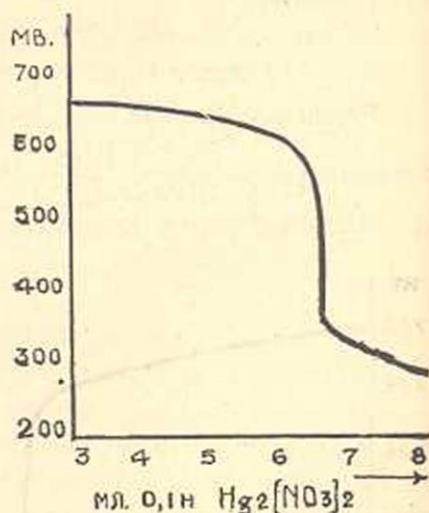
1) восстановительные свойства образующейся металлической ртути и связывание полученной в результате этой реакции  $\text{Hg}^{2+}$  в анион  $[\text{Hg}(\text{CN})_4]^{2-}$ ;

2) осаждение образующейся  $\text{Cu}^+$  в виде практически нерастворимой  $\text{CuCNS}$ .

Исходя из всего вышеприведенного, мы решили применить раствор закиси ртути в качестве рабочего раствора редуктометрии. С этой целью, в первую очередь, отдельными опытами было исследовано и доказано постоянство растворов  $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$ . [7].

Затем было испытано восстановление ряда ионов, как-то:  $\text{Cr}^{6+}$ ,  $\text{V}^{5+}$ ,  $\text{Mn}^{7+}$ ,  $\text{Mo}^{6+}$ ,  $\text{J}_2$ ,  $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$  и т. д.

Полученные предварительные данные показали, что нитрат закиси ртути может быть применен как для прямого определения окислителей, так и для косвенного определения элементов и соединений, вступающих с первыми в реакцию. Это даст возможность разработать имеющий практическое значение метод редуктометрии с применением, в качестве стабильного раствора, нитрата закиси ртути. Таким образом, меркурометрия, применяемая до сих пор только



Фиг. 4. Кривая титрования раствора  $\text{CuSO}_4$  нитратом закиси ртути (в присутствии роданида)



для реакции осаждения, найдет себе новую, несравненно большую область применения.

В первую очередь необходимо было все возможные реакции восстановления с помощью нитрата закиси ртути детально исследовать потенциометрически. Выполнению этой задачи мы решили посвятить ряд систематических исследований. В данном сообщении мы приводим экспериментальную часть, касающуюся деталей потенциометрического исследования меркурометрического восстановления железа и меди.

### Экспериментальная часть

Все описанные ниже потенциометрические измерения осуществлялись с помощью обычной компенсационной установки по Поггендорфу и Дю-Буа-Раймонду.

Индикаторным электродом служила гладкая платина, а стандартным — насыщенный каломельный электрод. Нулевым инструментом являлся стрелочный гальванометр ( $1^\circ = 0,09 \cdot 10^{-6} \text{A}$ ). Индикаторный электрод в промежутках между опытами сохранялся в хромовой смеси и время от времени прокаливался. Для титрования применялась бюретка с делениями 0,02 мл, отсчет на которой возможен с точностью в 0,005 мл. Все титрования велись на холоду, без вытеснения воздуха из титрационного сосуда двуокисью углерода или каким-либо другим инертным газом.

Рабочим раствором служил 0,1н раствор нитрата закиси ртути. Нитрат закиси ртути готовился нами согласно литературным данным [8], слегка сушился между двумя листами фильтровальной бумаги и еще влажным растворялся в дистиллированной воде. При растворении  $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$  мы довольствовались содержащейся в ней азотной кислотой и избегали дальнейшего ее добавления. Титр полученного раствора устанавливался весовым методом в виде  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ . Описанный в литературе [9] метод иодометрического определения иона закиси ртути является по существу определением по разности, а потому мы одновременно занялись разработкой объемного метода непосредственной установки титра указанного раствора, по какому-либо из известных исходных веществ, чему и посвящена наша другая работа [7].

Приготовленный 0,1н раствор закиси ртути сохранялся в склянках с притертой пробкой над металлической ртутью (к готовому раствору прибавлялась капля чистой ртути, чтобы сохранить раствор неизменным в течение долгого времени). Для проверки устойчивости этого раствора титр его систематически устанавливался каждые 2 недели. По истечении трех месяцев изменения его титра нами не наблюдалось.

### Ртутнометрическое определение железа

В качестве испытуемого раствора применялся 0,1н раствор железо-аммонийных квасцов, титр которого устанавливался весовым методом.

К отмеренному объему исследуемого раствора прибавлялась азотная или серная кислота с таким расчетом, чтобы концентрация кислоты после разбавления начального раствора до 250 мл, была бы равна примерно 0,1н. К разбавленному до указанного объема исследуемому раствору прибавлялся 40%-ный раствор роданида аммония в 30-кратном количестве по сравнению с наличием количеством железа, а именно на 10 мл 0,1н раствора железо-аммонийных квасцов добавлялись 6 мл 40%-ного раствора роданида аммония. Затем исследуемый раствор титровался на холоду 0,1н раствором нитрата закиси ртути. Полученные кривые титрования совершенно аналогичны кривой, приведенной на фиг. 2. Скачок потенциала наблюдается точно в эквивалентной точке, величина его порядка 0,12V (120 мв) на 0,5 мл 0,1н титрующего раствора. Потенциал перехода около 450—500 мв. В процессе титрования потенциал устанавливается быстро и только у эквивалентной точки установка потенциала замедляется. Поэтому, при приближении к конечной точке, что легко заметить как по значению потенциала, так и по изменению окраски раствора, следует титруемый раствор энергично перемешивать. Исчезновение окраски роданового комплекса трехвалентного железа совпадает со скачком потенциала в эквивалентной точке, а потому метод имеет все возможности быть визуальным и не требует поисков нового индикатора. Результаты ртутнометрического определения трехвалентного железа приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты определения железа ртутнометрическим методом

| №№<br>п. п. | Взято $\text{Fe}_2\text{O}_3$<br>в г | Найдено $\text{Fe}_2\text{O}_3$<br>в г | Ошибка<br>в % | Примечание                               |
|-------------|--------------------------------------|----------------------------------------|---------------|------------------------------------------|
| 1           | 0,0328                               | 0,0327                                 | -0,30         | В 0,1 н растворе<br>азотной кислоты      |
| 2           | 0,0328                               | 0,0328                                 | $\pm 0,00$    |                                          |
| 3           | 0,0534                               | 0,0531                                 | -0,56         |                                          |
| 4           | 0,0656                               | 0,0652                                 | -0,61         |                                          |
| 5           | 0,0984                               | 0,0982                                 | -0,20         |                                          |
| 6           | 0,1311                               | 0,1308                                 | -0,23         |                                          |
| 7           | 0,0372                               | 0,0372                                 | $\pm 0,00$    | В 0,1 н растворе $\text{H}_2\text{SO}_4$ |
| 8           | 0,0372                               | 0,0371                                 | -0,26         |                                          |
| 9           | 0,0512                               | 0,0511                                 | -0,20         |                                          |
| 10          | 0,0670                               | 0,0666                                 | -0,60         |                                          |

Как видно из примечания к табл. 1, метод применим как в сернокислой, так и в азотнокислой средах. Довольно чувствительные ко-



личества азотной кислоты (не свыше 0,1н)\* не мешают восстановлению трехвалентного железа азотнокислой закисью ртути, чем и выгодно отличается этот метод от других методов восстановления, как например, от восстановления в редукторе Джонса или от восстановления с помощью жидких амальгам.

При применении визуального варианта меркурометрического определения железа следует предпочесть азотную кислоту, т. к. в азотнокислой среде весь процесс титрования проходит быстрее и обесцвечивание раствора в эквивалентной точке происходит резко.

В присутствии соляной кислоты, при концентрации последней 0,05—0,1н, результаты получаются на 1—1,5% выше теоретических. Большие количества соляной кислоты, приводят к еще большим ошибкам в связи с образованием нерастворимой  $Hg_2Cl_2$ . Для получения правильных данных необходимо: 1) следить за количеством добавляемого роданида, т. к. количества роданида меньше вышеупомянутого—приводят к повышенным результатам.

Появление в титруемом растворе осадка указывает на недостаток роданида. В таких случаях определение следует повторить, взяв соответственно большие количества роданида.

2) Раствор перед титрованием следует разбавить до 250 мл, ибо при титровании трехвалентного железа в маленьком объеме, в сравнительно концентрированных растворах, присутствующий в избытке роданид вызывает частичное восстановление трехвалентного железа до двухвалентного и результаты получаются на 5—6% ниже теоретических.

3) Роданид следует добавлять к титруемому раствору после подкисления и разбавления его до 250 мл.

4) Концентрацию азотной или серной кислоты в окончательно разбавленном растворе следует поддерживать в пределах 0,05н—0,1н.

### Меркурометрическое определение меди

В качестве исследуемого раствора применялся 0,1н раствор сульфата меди, приготовленный из точной навески гарантированной электролитической меди, растворением последней в азотной кислоте. По растворении меди к раствору прибавлялась концентрированная серная кислота, раствор выпаривался до появления паров серного ангидрида и в соответствующей мерной колбе разбавлялся водой до метки. Полученный раствор содержал некоторый избыток свободной серной кислоты в концентрации примерно 0,1н.

К отмеренному объему исследуемого раствора сульфата меди прибавлялась серная кислота с таким расчетом, чтобы после разбавления начального раствора до 250 мл концентрация кислоты бы-

\* Азотная кислота не должна содержать азотистую кислоту.



ла бы равна 0,1н. Раствор разбавлялся водой до 250 мл, затем к нему прибавлялся в большом избытке 40%-ный раствор роданида аммония (5—6 мл на 10 мл 0,1н раствора меди). Дальнейшее его титрование проводилось на холоду 0,1н раствором нитрата закиси ртути. Полученные кривые титрования подобны кривой, приведенной на фиг. 4. Скачок потенциала ясно выражен и наблюдается точно в эквивалентной точке; величина его порядка 150 мв на 0,02—0,03 мл титрующего раствора. Падение потенциала начинается при значениях примерно в 500 мв и медленно продолжается до 250—300 мв. Явление это настолько характерно, что можно и не ожидать окончательной установки потенциала и закончить титрование при соответствующих значениях. Помешивание сильно ускоряет установку потенциала. Присутствие молибдата аммония оказывает то же влияние, одновременно несколько уменьшая величину скачка в конечной точке. Сульфаты, ацетаты, а также ион аммония титрованию не мешают, что видно из данных табл. 2.

Таблица 2

Результаты определения меди меркурометрическим методом

|    | Взято Си в г | Найдено Си в г | Ошибка в % | Примечание                                     |
|----|--------------|----------------|------------|------------------------------------------------|
| 1  | 0,03178      | 0,03184        | +0,16      | В 0,2н растворе $H_2SO_4$                      |
| 2  | 0,03178      | 0,03182        | +0,12      | " "                                            |
| 3  | 0,06356      | 0,06363        | +0,11      | " "                                            |
| 4  | 0,06356      | 0,06346        | -0,15      | В 0,1н растворе $H_2SO_4$                      |
| 5  | 0,09730      | 0,09710        | -0,20      | В 0,2н " "                                     |
| 6  | 0,09730      | 0,09760        | +0,30      | " "                                            |
| 7  | 0,03178      | 0,03168        | -0,31      | В 0,01н $HNO_3$                                |
| 8  | 0,03178      | 0,03190        | +0,37      | Прибавлено 1,6 г $K_2SO_4$                     |
| 9  | 0,03178      | 0,03188        | +0,31      | Прибавлено 1,6 г $K_2SO_4$<br>в 0,01н. $HNO_3$ |
| 10 | 0,03178      | 0,03178        | $\pm 0,00$ | Прибавлено 0,5 г $(NH_4)_2SO_4$                |
| 11 | 0,03178      | 0,03180        | +0,063     | В 0,01н. $HNO_3$                               |

Присутствие небольших количеств азотной кислоты (0,01н) вполне допустимо. Так, при разбавлении в 20—25 раз начального исследуемого раствора, содержащего азотную кислоту в 0,2н концентрации, результаты титрования несколько не отличаются от тех, которые были получены в отсутствии азотной кислоты. При больших количествах азотной кислоты потенциал при каждом добавлении нитрата закиси ртути вначале падает, затем вновь возрастает и титрование заканчивается с повышенной против теории затратой рабочего раствора азотнокислой закиси ртути. Иначе говоря, в данном случае восстанавливается и азотная кислота. Присутствие соляной кислоты, как и в случае с железом, приводит к несколько повышенным результатам.

Для разработки визуального варианта необходимо подобрать соответствующий индикатор, что является предметом отдельного ис-



следования. Практический интерес представляет определение меди в присутствии трехвалентного железа; поэтому мы исследовали влияние последнего на меркурометрическое титрование меди.

При титровании раствора, содержащего одновременно железо и медь, скачок потенциала наблюдается только после суммарного восстановления обоих ионов. Окраска роданида железа сохраняется до конца титрования, а образование осадка роданида одновалентной меди заметно с самого начала, из чего следует, что в первую очередь восстанавливается медь, а затем уже трехвалентное железо. Для разработки метода дробного определения меди в присутствии железа был применен в качестве маскирующего комплексообразователя фторид аммония. К испытываемой смеси, содержащей одновременно медь и железо, добавлялись 15—20 мл 20%-ого раствора ацетата натрия и 10%-ный раствор фторида аммония до исчезновения красноватой окраски, обусловленной наличием в растворе уксуснокислого железа. После этого прибавляется еще 5—10 мл раствора фторида аммония, раствор разбавляется водой до 250 мл и по прибавлении указанного выше количества роданида аммония титруется нитратом закиси ртути. Ход титрования несколько не отличается от титрования растворов чистой меди, а полученные результаты (см. кр. на фиг. 5 и данные табл. 3) говорят о том, что в описанных условиях присутствие железа не мешает определению меди.

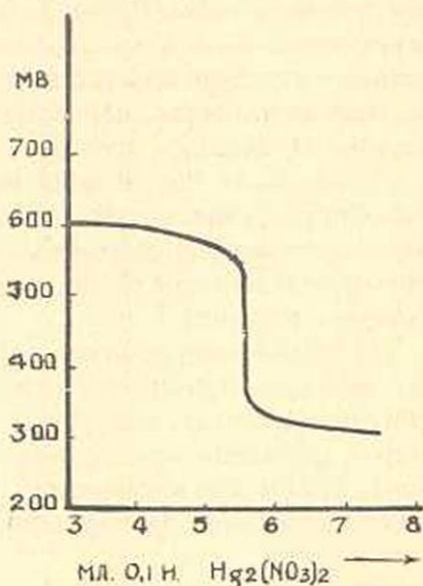


Рис. 5. Кривая титрования раствора меди 0,1 н нитратом закиси ртути (в присутствии фтористого комплекса железа)

Таблица 3  
Результаты меркурометрического определения меди в присутствии железа

|   | Взято  |        | Найдено<br>Cu в г | Ошибка<br>в % | Примечание                                                                                   |
|---|--------|--------|-------------------|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | Fe в г | Cu в г |                   |               |                                                                                              |
| 1 | 0,0301 | 0,0312 | 0,0311            | -0,32         | Прибавлено:<br>20 мл 20%-<br>и $\text{CH}_3\text{COO Na}$<br>избыток $\text{NH}_4\text{F}$ . |
| 2 | 0,0301 | 0,0312 | 0,0312            | $\pm 0,00$    | " "                                                                                          |
| 3 | 0,0602 | 0,0312 | 0,0311            | -0,32         | " "                                                                                          |
| 4 | 0,0602 | 0,0312 | 0,0310            | -0,64         | " "                                                                                          |
| 5 | 0,0905 | 0,0312 | 0,0313            | +0,32         | " "                                                                                          |
| 6 | 0,1204 | 0,0312 | 0,03114           | -0,19         | " "                                                                                          |
| 7 | 0,1806 | 0,0188 | 0,0187            | -0,53         | " "                                                                                          |

Таким образом, метод меркурометрического восстановления применим как для определения железа и меди в отдельности, так и для определения меди в смеси с железом.

Кроме того метод этот с успехом может быть применен для определения двухвалентной меди в присутствии одновалентной, так как последняя с самого начала связывается избытком роданида в виде нерастворимого роданида одновалентной меди.

### В ы в о д ы

1. Потенциометрическим исследованием доказано, что нитрат закиси ртути в присутствии роданида служит восстановителем для трехвалентного железа, двухвалентной меди и т. д. Одновременно, учитывая устойчивость раствора одновалентной ртути в обычных лабораторных условиях, предложен новый меркурометрический метод редуктометрического анализа.

2. Детально исследовано меркурометрическое определение железа. Определение это достаточно точно и осуществимо в сернокислых и азотнокислых растворах. Соляная кислота приводит к повышенным результатам. Метод не требует поисков индикатора для визуального варианта.

3. Меркурометрическое определение меди по точности не уступает меркурометрическому определению железа и применимо в присутствии сульфатов, ацетатов и солей аммония. Хлориды и соляная кислота вызывают повышенные данные. В присутствии фторида аммония, в качестве маскирующего комплексообразователя, медь можно определить при одновременном присутствии значительных количеств железа.

Ереванский Государственный университет  
им. В. М. Молотова.

### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В. С. Сырокомский — Методы анализа железных и марганцевых руд. Металлургиздат, 1941, стр. 13—18.
2. Б. В. Птицын и В. А. Козлов — Ж. аналит. химии, т. IV, вып. 1, 35, 1949.
3. С. А. Бабушкин и М. Л. Погребинская — Завод. лаборатория, т. XIV, № 10, 1183, 1948.
4. F. R. Bradbury и E. G. Edwards — Journal of the Soc. of chem. Ind. May, 97—98, 1940.
5. В. И. Петрашень — Качественный хим. анализ. Изд. шестое. ГНТИ, 1948, стр. 559.
6. H. Furman и W. Murray — J. Am. Chem. Soc., 58, 1689, 1936.
7. В. М. Тараян и А. А. Арутюнян — Изв. АН Арм. ССР (физ.-мат. естеств. и тех. науки) т. III, № 7, 663, 1950.
8. Ю. В. Карякин — Чистые хим. реактивы. ОНТИ—химтеорет. Ленинград, 1936, стр. 442.
9. И. Кольтгоф — Объемный анализ, т. II. Госхимтехиздат. Ленинград, 1932, стр. 436.
10. Hempel — Ann. d. Chem., 110, 176, 1859.



Վ. Մ. Թառայան

# ՄԵՐԿՈՒՐՈՄԵՏՐԻԱՆ ՈՐՄԵՍ ԾԱՎԱԼԱՅԻՆ ԱՆԱԼԻԶԻ ՌԵԴՈՒԿՏՈՄԵՏՐԱԿԱՆ ԵՂԱՆԱԿ

Հաղորդում 1

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Ծավալային անալիզում կիրառվող ռեդուկտոմետրական աշխատանքային լուծույթները չեն պահպանում իրենց փափուկությունը, որը չափազանց բարդացնում է նրանց կիրառման պայմանները: Մեղմիկի նիտրատի լուծույթը լինելով չափազանց կայուն, լաբորատորիական սովորական պայմաններում թույլ է տալիս կիրառել նրան որպես ռեդուկտոմետրական հեղուկ: Վերջին հանգամանքը լայնացնում է մերկուրոմետրիայի կիրառման սահմանները և, բացի նստեցման ռեակցիաներից, այդ աշխատանքային լուծույթը կիրառելի է դարձնում բազմաթիվ իոնների որոշման համար, որոնք փոփոխական արժեքականություն ունեն: Տվյալ հաղորդմամբ սխաբաբանվում են երկաթի մերկուրոմետրական որոշման պայմանները և ապացուցվում է պղնձի ռեդուկտոմետրական որոշման հնարավորությունը տարբեր պայմաններում:

ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

А. Т. Бабалян и студентка Н. П. Гамбарян

Синтез новых ацетиленовых  $\gamma$ -гликолей

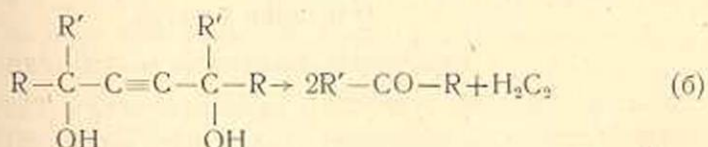
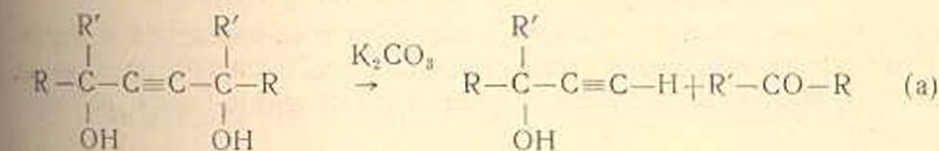
Известно, что в присутствии едкого кали кетоны конденсируются с ацетиленом и ацетиленовыми спиртами с образованием соответствующих симметрических и несимметрических ацетиленовых  $\gamma$ -гликолей [1].

В настоящей работе описана реакция бензилацетона с ацетиленом и метилбутинолом.

Образующийся 1,8-дифенил-3,6-диметилоктин-4-диол-3,6, имеющий два асимметричных атома углерода, может существовать в виде двух оптически неактивных стереоизомерных форм, разделяемых обычно многократной перекристаллизацией. Впервые подобное разделение стереоизомеров ацетиленовых  $\gamma$ -гликолей осуществил Dupont [2].

Многократной перекристаллизацией 1,8-дифенил-3,6-диметилоктин-4-диола-3,6 нам удалось разделить смесь стереоизомеров с температурой плавления  $90-96^\circ$  на плохо растворимое, высокоплавящееся ( $102-102,5^\circ$ ) и хорошо растворимое, низкоплавящееся ( $57-59^\circ$ ) соединения.

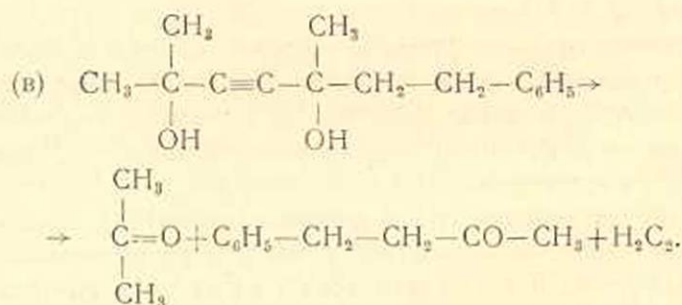
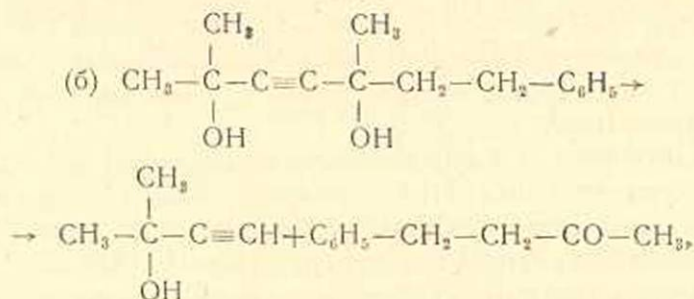
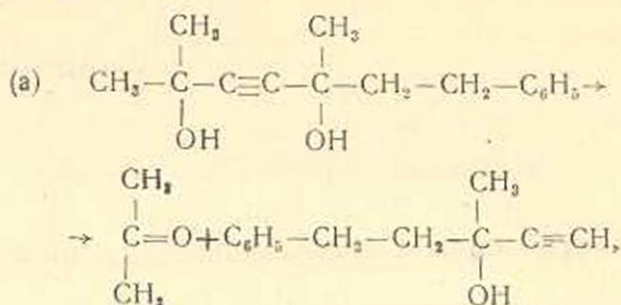
При нагревании со щелочными реагентами, как, например, карбонатом калия, ацетиленовые  $\gamma$ -гликоли расщепляются [3] на ацетиленовый спирт и кетон (а), а также на кетон и ацетилен (б):



Однако при расщеплении 1,8-дифенил-3,6-диметилоктин-4-диола-3,6 мы не получили 1-фенил-3-метилпентин-4-ола-3(а) возможно потому, что проводили реакцию не в вакууме, и спирт не отгонялся из реакционной смеси.



Несимметричные ацетиленовые  $\gamma$ -гликоли могут расщепляться по трем направлениям.



При нагревании 1-фенил-3,6-диметилгептин-4-диола-3,6 с карбонатом калия 48% диола расщепилось по схеме (б) и 52% по схеме (в).

В продуктах реакции 5-фенил-3-метил-пентин-1-ол-3 не обнаружен.

### Описание опытов

#### 1. 1,8-дифенил-3,6-диметилоктин-4-диол-3,6

Смесь, содержащую 15 г бензилацетона и 75 мл эфира, насытили ацетиленом и, охлаждая льдом, присыпали 20 г КОН. Постоянно перемешивая, в течение 5-ти часов пропустили 4,5 л ацетилена. Реакционная смесь потемнела, но не загустела. На следующий день провели гидролиз. Эфирный слой отделили, нейтрализовали углекислым газом и высушили.

После отгонки эфира остаток закристаллизовался. Получили 8,1 г (50,6% теорет. количества) белых кристаллов с температурой

плавления 90—96°, не дающих осадка с аммиачным раствором окиси серебра и окрашиваемых концентрированной серной кислотой в желтовато-коричневый цвет.

Элементарный анализ вещества:

0,1055 г вещ.: 0,3153 г  $\text{CO}_2$ ; 0,0774 г  $\text{H}_2\text{O}$ .

0,0948 г вещ.: 0,2830 г  $\text{CO}_2$ ; 0,0723 г  $\text{H}_2\text{O}$ .

Найдено %: С 81,5; Н 8,15; О 8,47.

$\text{C}_{12}\text{H}_{16}\text{O}_2$ . Вычислено %: С 82,0; Н 8,74.

Многочисленной перекристаллизацией из бензина выделили трудно растворимое соединение с т.пл. 102—102,5°.

0,1080 г вещ.: 0,3263 г  $\text{CO}_2$ ; 0,0908 г  $\text{H}_2\text{O}$ .

Найдено %: С 82,4; Н 9,34

$\text{C}_{12}\text{H}_{16}\text{O}_2$ . Вычислено %: С 82; Н 8,74.

Хорошо растворяется в спирте, эфире и бензоле, трудно—в бензине.

Низкоплавящийся изомер с т. пл. 57—59° очень хорошо растворяется в спирте, эфире, бензоле, ацетоне, бензине и др. растворителях; поэтому его очень трудно очищать перекристаллизацией.

#### II. 1-фенил-3,6-диметилгептин-4-диол-3,6

К смеси 5 г бензилацетона, 5,8 г КОН и 50 мл эфира постепенно прилили, охлаждая и перемешивая, 2,86 г метилбутинола. Гидролиз провели через день. Получили 4,85 г белых кристаллов с т. пл. 65—67° (59,2% теорет. количества). Концентрированной серной кислотой окрашиваются в темно-коричневый цвет.

Элементарный анализ вещества:

0,1094 г вещ.: 0,3097 г  $\text{CO}_2$ ; 0,0870 г  $\text{H}_2\text{O}$ .

Найдено %: С 77,2; Н 8,81.

$\text{C}_{15}\text{H}_{20}\text{O}_2$ . Вычислено %: С 77,6; Н 8,706.

#### III. щелочное расщепление 1-фенил-3,6-диметилгептин-4-диола-3,6

Смесь 5,15 г диола и 2,08 г карбоната калия нагревали 1 ч. при 170—175° на масляной бане. Во время реакции выделилось 225 мл ацетилена (25°, 680 мм, 0,0075 моля, 0,19 г).

В приемнике собрали 1,33 г жидкости, в которой анализом найдено (титрацией соляной кислоты, выделяющейся от взаимодействия с солянокислым гидроксиламином) 0,37 г ацетона. Остальная часть—метилбутинол (белый осадок с аммиачным раствором окиси серебра) и небольшое количество воды (взятый в реакцию углекислый калий не был обезвожен). Потери при перегонке—0,075 г. Итак, ацетона образовалось 0,445 г (0,0075 моля), то-есть такое же количество, как и ацетилена. Значит, расщепление по схеме (а) не состоялось, а продолжалось дальше. В реакционной колбе осталось



3,93 г вещества, в котором анализом найдено 2,13 г (0,0144 моля) бензилацетона; остальное — не расщепившийся диол.

Следовательно, из 3,35 г расщепившегося диола 52% распалось по схеме (в) и 48% по схеме (б).

#### VI. Расщепление 1,8-дифенил-3,6-диметилоктин-4-диола-3,6

В условиях расщепления вышесприведенного несимметричного диола 1,8-дифенил-3,6-диметилоктин-4-диол-3,6 почти не изменяется, так что пришлось нагревать 1 ч. при 190-195°.

Диола взяли 3 г, карбоната калия 1,7 г. Ацетилена выделилось 140 мл (25° 680 мм, 0,131 г-0,005 моля).

В колбе осталось 2,87 г вещества, в котором анализом найдено 1,52 г (0,0101 моля) бензилацетона.

Итак, в этих условиях симметричный диол бензилацетона полностью расщепился по схеме (б).

#### В ы в о д ы

1. Синтезировано два неописанных в литературе ацетиленовых  $\gamma$ -гликоля: 1,8-дифенил-3,6-дометилоктин-4-диол-3,6 и 1-фенил-3,6-диметилгептин-4-диол-3,6.

2. Установлено, что 1,8-дифенил-3,6-диметилоктин-4-диол-3,6 может быть разделен на стереоизомеры многократной перекристаллизацией из бензина.

3. Показано, что при нагревании с карбонатом калия 52% 1-фенил-3,6-диметилгептин-4-диол-3,6 расщепляется по схеме (в) и 48% по схеме (б).

4. 1,8-дифенил-3,6-диметилоктин-4-диол-3,6 намного устойчивее несимметричного диола и лишь в более жестких условиях расщепляется полностью по схеме (б).

Химический Институт  
Академии Наук Армянской ССР.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. А. Т. Бабалян. — Изв. АН Арм. ССР, № 5—6, 121, 1941.
2. Dupont. — Compt. rend., 149, 1381, 1909; 150, 1121, 1910. 153, 714. 1914.
3. А. Т. Бабалян. — ЖОХ. Вып. 5, 396, 1939.

Ա. Թ. Բաբայան եւ Ռ. Պ. Գամբարյան

#### ԱՅԵՏԻԼԵՆԱՅԻՆ ՆՈՐ ԴԳԼԻԿՈԼՆԵՐԻ ՍԻՆԹԵԶ

#### Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Մեզնից մեկի նախորդ աշխատություններում ցույց է տրված, որ ալեոկոկենը կծուկալիումի ներկայությամբ կոնգենավում է կետոնների հետ, դոշայներով ալեոկոկենային սիմետրիկ և ոչ սիմետրիկ  $\gamma$ -գլիկոլներ, ներկա

հղմամբ նկարագրվում է բենզիլացետոնի սեպիկան ացետիլենի և մեթիլբրուտինոլի հետ:

Ացետիլենի և բենզիլացետոնի կոնդենսումից ստացված է 1,8-դիֆենիլ-3,6-դիմեթիլ-4-օկտին-3,6-դիոլը, որը բաժանված է երկու օպտիկապես քլորով իզոմերների: Բենզիլացետոնի և մեթիլբրուտինոլի կոնդենսումից ստացված է 1-ֆենիլ-3,6-դիմեթիլ-4-հեպտին-3,6-դիոլը:

Ուսումնասիրված է ալդ. դիֆերենցի ճեղքումը պոտաչի և բարձր ջերմաստիճանի ալդեհոթյան տակ: Պարզված է, որ 1-ֆենիլ-3,6-դիմեթիլ-4-հեպտին-3,6-դիոլը պոտաչի հետ  $176-175^\circ$  տաքացնելիս ճեղքվում է մասամբ ( $48\%$ ) մեթիլբրուտինոլի և բենզիլացետոնի, մասամբ էլ ( $52\%$ )՝ ացետոնի, բենզիլացետոնի և ացետիլենի:

1,8-դիֆենիլ-3,6-դիմեթիլ-4-օկտին-3,6-դիոլը ճեղքման է ենթարկվում ավելի բարձր ջերմաստիճանում, գոյացնելով ացետիլեն և երկու մոլ բենզիլացետոն:

