

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ
ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ԿՐԹԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈՒՆԳՐԱ

Սղոնց Հ. Տ., Ալեքսեևսկի Վ. Վ., Աղիազարյան Ի. Վ., Կառյան
Մ. Վ. (պատ. խմբագիր), Կաղարով Ա. Գ., Սիմոնով Մ. Զ.,
Փինաջյան Վ. Վ. (պատ. խմբագիր տեղակալ):

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Адонц Г. Т., Алексеевский В. В., Егиазаров И. В., Касьян
М. В. (ответ. редактор), Назаров А. Г., Пинюксян Б. В.
(зам. отв. редактора), Симонов М. З.

Г. А. МАКАРЯН

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПОКАЗАТЕЛЯ
 РУСЛА

При проектировании гидротехнических сооружений часть гидравлических расчетов иногда сводится к построению линии свободных поверхностей потоков движущейся воды. Подобные задачи обычно решаются с помощью следующего уравнения неравномерного движения жидкости в призматическом русле:

$$\int_1^2 dl = \int_{h_1}^{h_2} \frac{1 - \Pi_k}{\omega^2 C^2 R} dh, \quad (1)$$

где l , h , ω , R — соответственно расстояние, глубина, живое сечение, гидравлический радиус произвольного поперечного сечения русла; Q — расход; Π_k — параметр кинетичности потока; i — уклон дна русла. Однако, найти точный интеграл уравнения (1) не представляется возможным из-за сложных зависимостей величин Π_k , ω , C и R от h , чем и объясняется появление ряда приближенных способов интегрирования уравнения (1).

подавляющее большинство приближенных способов интегрирования основано на применении показательной функции, заменяющей выражение $\frac{Q^2}{\omega^2 C^2 R}$ в уравнении (1). Впервые применение показательной зависимости для модулей расхода K' и K'' , относящихся к двум сечениям потока с глубинами h' и h'' , было предложено Б. А. Бахметьевым [1]:

$$\left(\frac{K'}{K''}\right)^2 = \left(\frac{h'}{h''}\right)^\alpha, \text{ где } K = \omega C \sqrt{R}. \quad (2)$$

Показатель степени α им был назван „гидравлическим показателем русла“.

С целью более точного интегрирования уравнения (1) И. И. Агроския [2] и М. Д. Чертоусов [3] применили показательную зависимость следующего вида

$$\frac{Q^2}{\omega^2 C^2 R} = z^{-\beta}, \quad (3)$$

В уравнении (1) dh необходимо выразить через dz . Поэтому было допущено, что при произвольном и постоянном значении x имеет место прямолинейная связь между h и z на коротком участке интегрирования, т. е.

$$\frac{h_1 - h_2}{z_1 - z_2} = \text{const.}$$

В литературе встречаются разноречивые рекомендации по выбору значения x . Автор в данной статье пытается внести ясность в затронутый вопрос и дать обоснованное решение для определения и оценки x .

Дифференцируя выражение (3) получим:

$$-xz^{-(x+1)} dz = \frac{Q^2}{i} d\left(\frac{1}{\omega^2 C^2 R}\right) = -\frac{Q^2}{i} \left[\frac{2}{\omega^2 C^2 R} \frac{d\omega}{\omega} + \frac{1}{\omega^2} d\left(\frac{1}{C^2 R}\right) \right]. \quad (4)$$

Полагая далее $\chi = \frac{\omega}{R}$, $C = \frac{1}{\omega} R^y$ следуя Н. Н. Павловскому [4] для последнего члена (4), получим выражение

$$\frac{1}{\omega^2} d\left(\frac{1}{C^2 R}\right) = \frac{1+2y}{\omega^2 C^2 R} \left(\chi - \frac{d\omega}{\omega} \right).$$

Тогда

$$x \frac{dz}{z} = \theta \frac{dh}{h},$$

где

$$\theta = (3 + 2y) \frac{d\omega}{dh} \cdot \frac{h}{\omega} - (1 + 2y) \frac{d\chi}{dh} \cdot \frac{h}{\chi}. \quad (5)$$

Откуда

$$h = \text{const} \cdot z^{\frac{x}{\theta}}. \quad (6)$$

Следовательно, прямолинейная связь между h и z будет иметь место не при произвольном значении x , а только при $x = \theta$ или

$$x = (3 + 2y) \frac{h}{\omega} \frac{d\omega}{dh} - (1 + 2y) \frac{h}{\chi} \frac{d\chi}{dh}. \quad (7)$$

В дальнейшем преобразовании выражения (7) необходимо учесть форму поперечного сечения русла.

А. Русло трапециoidalной формы.

$$\omega = h(b + mh); \quad \chi = b + 2h \sqrt{1 + m^2}; \quad \theta = \frac{b}{h};$$

тогда $\frac{d\omega}{dh} = b + 2mh$, $\frac{d\chi}{dh} = 2\sqrt{1 + m^2} = m'$.

Следовательно, из (7) для гидравлического показателя трапециoidalного русла получим выражение

$$x = (3 + 2y) \frac{b}{b + m} - (1 + 2y) \frac{m'}{b + m'}. \quad (8)$$

которое впервые было получено Чугаевым [5] косвенным путем.

Из (8) следует, что: 1) для относительно широких трапециевидных и прямоугольных русел, когда $\beta \rightarrow \infty$, $x = 5 + 2y$.

2) для треугольных русел, когда

$$\beta \rightarrow 0, x = 5 + 2y. \quad (9)$$

3) для прямоугольных русел, когда $m = 0$,

$$x = 3 + 2y = \frac{1 + 2y}{\beta/4 + 1}. \quad (10)$$

Б. Русло параболической формы.

$$\omega = \frac{2}{3} bh, x = p \sqrt{\frac{2h}{p} \left(1 + \frac{2h}{p}\right)} + p \ln \left(\frac{2h}{p} + \sqrt{1 + \frac{2h}{p}} \right),$$

$p = \frac{b^2}{8h}$ — параметр параболы.

Тогда, согласно (7), окончательно получим

$$x = 4,5 + 3y - \frac{4 + 8y}{4 + 3 \ln \left(\frac{4}{\beta} + \sqrt{1 + \frac{16}{\beta^2}} \right) \cdot \sqrt{1 + \frac{16}{\beta^2}}} \quad (11)$$

или приближенно

$$x = 4 + 2y - \frac{8 + 16y}{\beta^2 + 16}. \quad (11')$$

Из (11), а также из (11') следует, что:

1) для мелководных параболических русел, когда $\beta \rightarrow \infty$ ($h \rightarrow 0$), $x = 4 + 2y$.

2) для очень глубоких русел когда $\beta \rightarrow 0$ ($h \rightarrow \infty$), $x = 3,5 + y$. В большинстве случаев практики относительная ширина β колеблется в интервале 1 — 4. Этому соответствует $x = 3,53 + 1,06y$ — $3,75 + 1,5y$, или при $y = 0,2$: $x = 3,74 - 4,05$. Так как зависимость x от y мала, можно для параболических русел рекомендовать значение $x = 3,9$ (рис. 1).

В. Русло кругового сечения с радиусом r .

Представляя уравнение круга в форме: $r^2 = \left(\frac{b}{2}\right)^2 + u^2$, где $u = r - h$, получим

$$\omega = \frac{\pi r^2}{2} - u \sqrt{r^2 - u^2} - r^2 \arcsin \frac{u}{r};$$

$$x = \pi r - 2r \arcsin \frac{u}{r}.$$

На основании выражения (7), получим:

$$x = \frac{16(3 + 2y)\beta}{\left(\frac{\beta^2 + 4}{2}\right)^2 \left(\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{\beta^2 - 4}{\beta^2 + 4}\right) - \beta(\beta^2 - 4)} - \frac{2(1 + 2y)}{\beta \left(\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{\beta^2 - 4}{\beta^2 + 4}\right)}. \quad (12)$$

Выражения (8)–(12) графически изображены на рис. 1.

Из рассматриваемых кривых рис. 1 следует, что для русел любой формы, значение x будет находиться в области, ограниченной сверху прямой 5, снизу кривой 1, осью ординат и бесконечностью

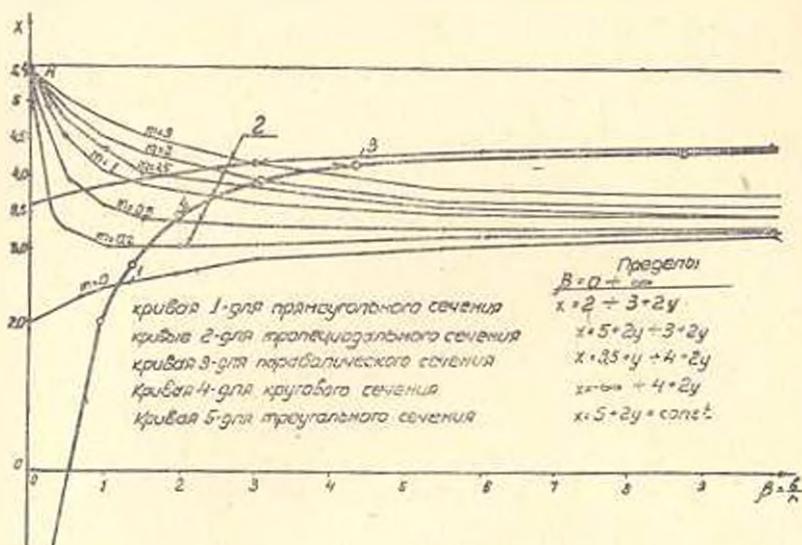


Рис. 1. Кривые $x = f(\beta)$ для различных форм поперечных сечений русла при $y = 0,2$.

($\beta = \infty$). Исключение составляет часть кривой 4 для кругового сечения, находящейся вне этой области при $\beta < 1,25$, $x < 2,2 + 2y$ и не представляющей практического интереса.

Приведенные соображения об изменяемости гидравлического показателя x , а также анализ результатов практических расчетов показывает, что изменение x по длине потока незначительно.

Поэтому, учет линейной зависимости между h и z при интегрировании уравнения (1) применением степенной функции не снижает точность интегрирования. Точность расчета длины свободной поверхности будет зависеть лишь от точности выбора величины x .

С целью оценки абсолютной ошибки Δl при определении длины канала l положим, что последняя определяется следующей формулой, являющейся решением уравнения (1) [2], и вся ошибка Δl складывается от ошибки в выборе x , т. е. от Δx .

$$l_{1-2} = \frac{1}{i} \left[\Delta h + (1 - \Pi_k) \frac{\Delta \Phi}{\Delta z} \right] \Delta z. \quad (13)$$

Следует различать два случая появления абсолютной ошибки Δx :

1) когда значение x для одного характерного живого сечения определяется по одной из формул (8–12) и принимается постоянным по всей длине канала, тогда, когда для другого любого сечения x будет другим. Такие ошибки неизбежны и обычно составляют не более 10–20%.

2) когда x не определяется по указанным формулам, а его значение выбирается произвольно. Ошибка в этом случае может быть большой и зависит от метода расчета каналов.

Докажем, что ошибка Δl в первом случае незначительна и ею можно пренебречь. Сначала установим связь между относительными ошибками $\alpha = \frac{\Delta x}{x}$ и $\delta = \frac{\Delta z}{z}$. Пусть расчетному значению x по формуле (3) соответствует определенное значение z , заданного сечения канала, а действительному значению $x' = x + \Delta x$ соответствующая величина $z' = z - \Delta z$. Тогда, согласно (3)' можно окончательно записать

$$\mp \delta = 1 - z \quad (14)$$

где знак $+$ соответствует $z > 1$, а величина δ соизмерима с α . Далее, допуская прямолинейную связь на малом участке кривой $\Phi(z)$, можно на основании (13) составить следующее приближенное выражение, позволяющее найти величину относительной ошибки

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{\gamma - \delta}{\alpha + \delta} \cdot \frac{1}{1 + \frac{z_2 - z_1}{\Phi_2 - \Phi_1} \cdot \frac{1}{1 - \Pi_2}} \quad (15)$$

где величина $\Phi = \Phi(z)$; $\gamma = \frac{\Delta \Phi}{\Phi}$ и соизмерима с δ . Из рис. 2 следует, что $\gamma < \delta$ при $z > 1$ и $\gamma > \delta$ при $z < 1$.

Из (14) и рис. 2 следует, что α , δ и γ величины одного порядка. Следовательно, согласно (15) величины $\Delta l/l$ тоже одного порядка с α , δ , γ и всегда значительно меньше разности $\gamma - \delta$. Например, для

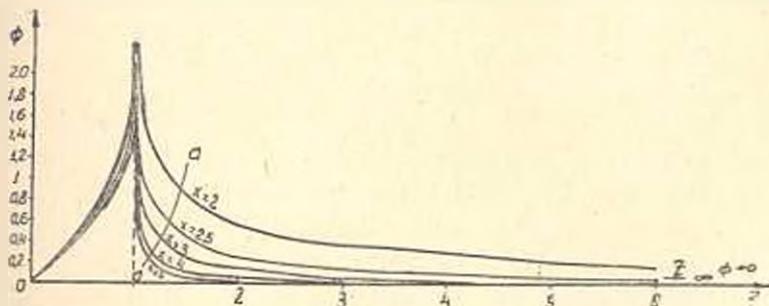


Рис. 2. Семейство кривых $\Phi(z)$ при разных значениях x . Слева от пунктирной линии $\Delta\Phi(z)/\Delta z > 1$; Справа $\Delta\Phi(z)/\Delta z < 1$.

$\alpha = 0,2$ (что может иметь место в редких случаях при очень длинных и узких каналах), согласно (14), при $z = 1,2 - 5$ $\delta = 0,03 - 0,2$ и по данным анализа характерных примеров, приведенных в справочниках для худшего случая, когда $\alpha = 0,2$, получаем согласно (14) и (15) $\Delta l/l < 0,03 - 0,06$.

Таким образом, при расчете свободных поверхностей при определении x , по формулам (8)–(12) поправкой Δl можно пренебречь.

Последствия произвольного выбора x (второй случай появления ошибки Δx) в каждом конкретном случае графически можно иллюстрировать с помощью семейства кривых $z = f(h)$, построенных на основании (3) для различных форм поперечных сечений русел и разных значений x .

Для сравнения автор воспользовался экспериментальными данными Моноубе [6], исследовавшего кривые свободных потоков в натуральных условиях. Данные обрабатывались в форме

$$z = \sqrt[3]{\frac{i}{Q^2 n^2} \cdot \frac{(kb + mh^2)^{3+2m}}{(b + 2h\sqrt{1+m^2})^{1+2m}}} \quad (16)$$

На рис. 3 представлено семейство кривых, вычисленных по уравнению (16), и данным Моноубе, для трапециoidalного сечения, при

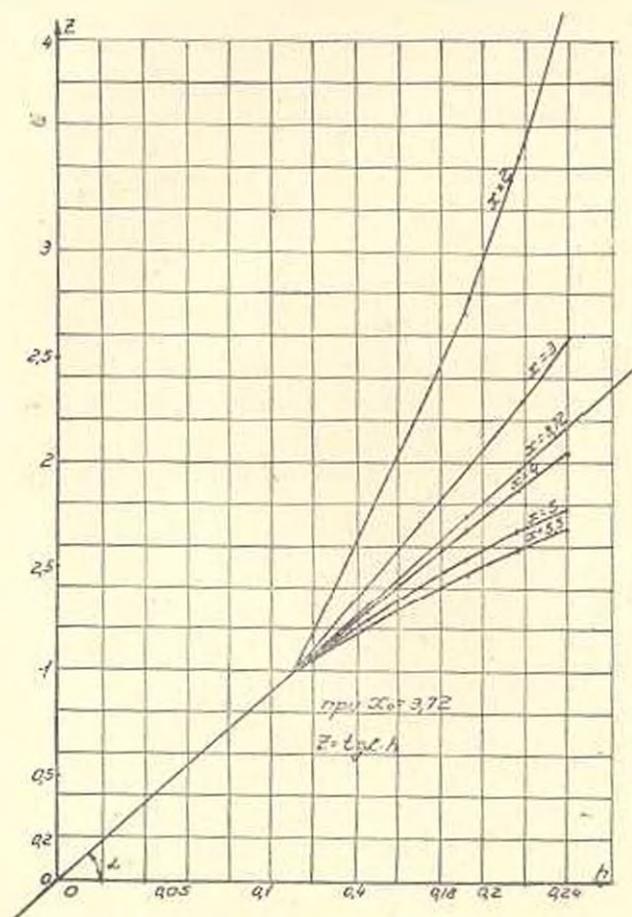


Рис. 3. Кривые $z = f(x)$, вычисленные по формуле (16) и натурным данным Моноубе [6] для русла трапециoidalного сечения,

разных значениях x . Семейство состоит из вогнутых и выпуклых кривых, разделяющихся прямой линией, соответствующей значению $x = x_0$, определенному по формуле (8). Из всех кривых только пря-

мая проходит через начало координат (необходимость последнего вытекает из (6)). Чем x меньше по сравнению x_0 , тем больше вогнутость кривых. Следовательно, увеличение показателя степенной функции (3) не всегда приводит к выпрямлению кривой, как это имеет место для параболических функций. Абсолютная ошибка ΔI от неправильного выбора Δ во втором случае будет значительно больше, чем в первом случае.

В свете изложенного рекомендуется при расчете кривых свободных поверхностей, призматических русел, гидравлический показатель русла x определять только по формулам (8)—(12), при этом изменение его величины по длине потока можно не учитывать.

АФВИИИЭМ

Поступило 5.11.1964

Կ. Ա. ՄԱԿԱՐՅԱՆ

ՀՈՒՆԻ ՀԻՊՐՈՎԼԻԿԱԿԱՆ ՅՈՒՑԻՉԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՄԱՍԻՆ

Ա մ փ ո փ ո ս

Հիդրոտեխնիկական կառուցվածքներ նախադեկլիս հաճախ անհրաժեշտություն է զգացվում ճիշտ որոշել ջրի հոսքի ազատ մակերևույթի դիրքը:

Այդ պատճառով ազատ մակերևույթի կորի (1) զիֆերենցիալ հավասարման ճիշտ լուծմամբ պայմանավորված է կառուցվածքների չափերի ճիշտ բնորոշումը և նրանց աշխատանքի նասայիությունը:

Ներկայումս (1) զիֆերենցիալ հավասարման բարդությունն պատճառով հալանի են միայն նրա լուծման մասնավոր եղանակները, որոնք հիմնականում հիմնվում են (3) տիպի կամ այլ խմբավորումների աստիճանալին ֆունկցիաներով փոխարինման վրա: Ինչպես զրականաթյուն մեջ, այնպես էլ նախադեման պրակտիկայում լայն տարածում են ստացել Բ. Ա. Բախմևտևի, Ա. Ի. Ազրուսկինի և Մ. Դ. Չերտուսովի առաջարկած մեթոդները, սրտեղ օդատարրծված են նշված բնդունելությունները, իսկ ինտեգրման ճշտությունը ի վերջո հանգում է X ցուցիչի բնարման ճշտությանը:

Սակայն զրականություն մեջ բավարար և սպառիչ սլարդություն չի մտցված հունի հիդրավիկ ցուցիչի արժեքների որոշման վերաբերյալ՝ կոսված ջրի շարժման պայմաններին: Վերջին հանդամանքը առիթ տվեց բազմաթիվ, երբեմն իրականությունը չհամապատասխանող կարծիքների և առաջարկությունների կուտակմանը: Ներկայումս X ցուցիչի որոշման վերաբերյալ միասնական կարծիք դրություն չունի:

Ի լրացումն նշված մեթոդների, հարվածում ուղղակի կելուով որոշվում է X ցուցիչի մասնատրիակյան արաանաչաութունները հունների պրակտիկայում օդատարրծվող տարրեր պրոֆիլների համար, բնոք որում ցուցե է տրվում, որ (1) հավասարման ինտեգրումը ճիշտ է. եթե X -ը որոշվում է միայն ստացված (8)—(12) արաանաչաութուններով:

Հունի հիդրավիկական ցուցիչի արաանաչաության ստրուկտուրային վերլուծութան և համապատասխան զրաֆիկների միջոցով պարզաբանվում է մեծութան արժեքի սխալ ընարման աղենութունը սվլյալ երեսվթի վրա. և գնահատվում է սխալի աստիճանը հունի չափերը որոշելիս:

Առաջին անգամ հորվածում բերված է x -ի արժեքը կլոր կտրված քննրով հունների համար (12):

Ապացուցվում է, որ անգամ x -ի արժեքի նշանակալի փոփոխումը բառ հունի երկարություն աննշան չափով է ազդում l -ի մեծություն վրա: Քափական է ճիշտ դրանի x -ի արժեքը հունի միջինացված չափերի համար և այն թողնել հաստատուն:

Միաժամանակ ապացուցվում է, որ x -ի սխալ ընտրումը (ոչ ըստ (8)—(12) արտահայտությունների) բերում է նշանակալից սխալներ: Ճիշտ չէ գրականությունում տարածված այն կարծիքը, թե x -ի արժեքի հնարավոր (լստ աղյուսակների) մեծ ընտրմամբ z -ի և h -ի կապը ձգտում է ողորդաձայնի և, հետևապես, մեծանում է ճշտությունը: Իս հերքվում է (3) նկարում բերված կարերայ:

Այսպիսով պրիզմատիկ հուններում ազատ մակերևույթի կորերը հաշվելիս անհրաժեշտ է x ցուցիչի մեծությունը որոշել միայն (8)—(12) բանաձևերով, որոնք բաղդատված են Մոնոտորի կողմից իրական հոսքերի ազատ մակերևույթների կորերի ուսումնասիրությունից ստացված փորձնական տվյալների հետ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Бахметьев Б. А. О неравномерном движении жидкости в открытом русле. М., 1921.
2. Агроскин В. И., Дмитриев Г. Т. и Пикалов Ф. И., Гидравлика, Госэнергоиздат, 1954.
3. Чертоусов М. Д. Гидравлика, Госэнергоиздат, 1957.
4. Павловский И. Н. Собрание сочинений т. 1. Изд. АН СССР, М., 1955.
5. Чугаев Р. Р. Некоторые вопросы неравномерного движения воды в открытых призматических руслах. Изв. ВНИИГ, М., 1931.
6. Mononobe N. Back-water and Drop-Down Curves for Uniform Channels. Proceedings of the ASCE, 1936, v. 62, № 5.

ГИДРОЛОГИЯ

И. В. ЕГІАЗАРОВ

ВЛИЯНИЕ ШИРОКОЙ СМЕСИ НАНОСОВ И САМООТМОСТКИ
РУСЛА НА ДВИЖЕНИЕ И РАСХОД НАНОСОВ

Сообщение 2

В сообщении 1 [31] была показана необходимость сопоставления с измерениями в натуре методов расчета расхода наносов при неоднородной по крупности их смеси с учетом влияния затенения мелких фракций крупными, с учетом влияния грядобразования и разделения на донные и взвешенные. Было дано новое развитие метода разработанного автором для однородных по крупности наносов и для безгрядового русла, на широкие смеси при грядовом русле. В настоящем сообщении необходимо остановиться на вопросе о выделении нерусловых наносов, порождаемых мелкими фракциями эрозионного размыва всей площади водосбора до замыкающего створа, для которого определяется расход наносов, и на результатах сопоставления расчетов по предлагаемому методу с измерениями в натуре и на методах построения натуральных гранулометрических кривых*.

31. Так как фракции смеси меньшие по размеру, чем предельные русловые не участвуют в русловом обмене наносами, во взвешивании с дна и в оседании, и распределены равномерно по глубине и проносятся транзитом, то их расход не может быть определен, исходя из критерия русловой подвижности (1) и из уравнений (10)–(11). Количество таких нерусловых наносов определяется состоянием поверхности бассейна всего водозабора и его эрозионной способностью. Поэтому исходя из гидрографов рассматриваемого паводка необходимо по имеющимся данным для разных грунтов и покровов оценить эрозию приходящуюся на единицу площади водосбора, разбив всю площадь водосбора на части репрезентативные по грунтам и покровам, с учетом влияния и условий инфильтрации. Только такая гидрологическая или гидролого-географическая оценка объемов эрозионного смыва самых мелких, нерусловых, фракций позволит определить тот суммарный объем наносов, который будет получен сложением их с расходом наносов по уравнениям (10)–(11) дающим сумму донных и взвешенных наносов.

Отмеченная выше гидролого-географическая оценка нерусловой эрозии с выделением из ее состава мелкофракционной нерусловой ча-

* Номерация рисунков, пунктов и формул, а также литературных ссылок здесь преимущественно продолжается от сообщения [31].

сти, может быть осуществлена при условии детального анализа поверхности и водопроницаемости покрова бассейна, на основах изложенных у Лопатина, Лядова, Клоновой и др. или исходя из коэффициентов селеносности Срибного применительно к самым мелким фракциям. В случае рассмотренном в [13] эта часть наносов (нерусловных), в частном случае отложений р. Монеи-крик в оз. Блумингтон составила 12% по весу. Но разумеется относительное участие нерусловых наносов может быть и значительно большее.

III. Сравнение расчетов по изложенному выше методу с данными натурных измерений

32. Для реки Каранкуль Узбекской ССР [9, 10 и 13]. При расходе воды реки > 1 куб. м./сек., уклонах от 0,03 до 0,05 и максимальных фракциях находящихся в движении от 0,2 до 0,5 м получается, что $d_0 > d_{\text{нн}}$. Следовательно отмостка нарушена. Для теоретических расчетов использовано уравнение (10'').

Для десяти замеров в натуре при расходах от 1,1 до 2,75 куб. м./сек. получилось отношение расхода наносов по расчету к расходу измеренному в натуре от 0,6 до 1,08, т. е. занижение в среднем на 15—20%. Для расходов < 1 куб. м./сек. получается $d_0 < d_{\text{нн}}$, отмостка не нарушена и расчеты произведены по ур. (10'). При этих условиях критерий подвижности $\frac{Ruv}{f_{\text{нн}} d_{\text{нн}}} < 1$ и расход наносов по расчету равен нулю, что практически совпадает с измерениями в натуре.

Полученные при обработке натуральных данных величины f_0 хорошо ложатся на кривую $f_0 = \varphi \left(\frac{d_i}{d_{cp}} \right)$ — рис. 1 [31]. На эту же кривую хорошо легли точки Пантелопулоса, в которых определялся не расход наносов, а величина f_0 . Эти точки интересны также и тем, что ложатся на кривую и при $d_i/d_{cp} < 1,0$ и даже $< 0,5$, хотя d_i лежит в переходной зоне обтекания зерен, т. е. подтверждают положение изложенное в п. 16 статьи [31]. Произведенные автором расчеты для р. Каранкуль по методу Эйнштейна дали расхождение с натурой от 1,04 до 2,2 раза, т. е. несколько больше, чем по методу автора.

33. Для р. Монеи-крик [13, 32]. Натурными измерениями охвачены отложения в озере Блумингтон за 1127 суток с расходами воды от 3,1 до 31 куб. м./сек. При среднем уклоне в 0,0009 и крупности смеси в отложениях русла от 0,03 до 17 мм, фракции меньше 0,05 мм исключены из гранулометрической кривой как нерусловые и составили 12%; фракции $> 9,4$ мм при расходе $Q = 31$ куб. м./сек. неподвижны. Следовательно $d_0 > d_{\text{нн}}$ и отмостка не нарушена. Для расчетов использовано ур. (10'). Замерено в натуре 60.500 т, а по расчету получено 40.900 т, т. е. 67%. При этом в расчете d_{cp} определялось как полусумма d_{cp} — взвешенного всех отложений и d_{cp} — взвешенного фракций находящихся в движении. Если в расчете d_{cp} уменьшить на 5—7%, то вес отложений получается 60.700 т, т. е. совпадает с измеренным в натуре.

ре. Уменьшение d_{cp} на 15%, что равносильно к переходу от арифметической средней к геометрической средней по двум гранулометрическим кривым, дает по расчету 93.100 м, т. е. преувеличение на 54%, а расчет по d_{cp} взвешенному только для фракций находящихся в движении дает 492.000 м, т. е. преувеличение в восемь раз; т. е. влияние затенения не может быть определено только гранулометрической кривой наносов находящихся в движении; другую крайность получим если расчет вести для d_{cp} — взвешенного по гранулометрии всех фракций отложенных в русле: расчет дает 605 м, т. е. уменьшение в 100 раз; следовательно только одна гранулометрическая кривая отложенный в русле приводит к слишком большому затевающему влиянию крупных неподвижных фракций.

Расчет произведенный для р. Монеи-крик по методу Эйнштейна Н. Б. Столем [32] дал 196.500 м, т. е. в 3,25 раза больше замеренного. Автор по методу Эйнштейна получил 197.000 м, но без учета влияния затенения отмытки. Отношение R'/R составило по И. Б. Столу для всего диапазона гидрографа от 0,33 до 0,5.

Для рассмотренных расходов воды р. Монеи-крик отношение d_{50}/d_{cp} при $d_{cp}=0,5$ (d_{cp} подвижное + d_{cp} полное) составило от 0,16 до 0,20, что указывает на большое затенение мелких фракций крупными. Величине $d_{50}/d_{cp}=0,2$ отвечает величина $f_0=0,3$, в пять раз большая, чем $f_0=0,06$ получаемая для однородных по крупности наносов автомобильной зоны.

34. Для 13-ти пригационных каналов США ([28, 29] — измерения Симонса и Бендера). Для расходов воды в диапазоне от 1,2 до 29 куб. м/сек. при малых уклонах от 0,000058 до 0,000330 и максимальных фракциях от 0,5 до 2 мм и при d_{50} от 0,17 до 0,77 м, отмытка не нарушена. Расчеты произведены по ур. (10') с определением R' по рис. 3, т. е. с учетом влияния грядообразования, взвешивания и влияния C_r . Среднее завышение расчета над замерами в натуре для больших расходов получилось около 40%; расхождение составило от 0,4 до 1,7 раза. Расчеты для этих же каналов, проведенные по методу Эйнштейна Калканисом [20] дали расхождение от 0,2 до 1,9 раза. При расчете использованы гранулометрические данные для d_{15} , d_{50} и d_{85} .

35. Для р. Тине-Изола [30, 32]. Исследование произведено в лаборатории Шату на крупной пространственной модели (1:12,5) с некоторыми замерами в натуре. Расходы воды в диапазоне от 15 до 50 куб. м/сек (на модели от 27 до 91 м/сек), при уклоне в 0,011. Очень ценным обстоятельством является наличие гранулометрических кривых для шести расходов воды и для полных отложений в русле. Соответственно d_{cp} на модели составило от 1,8 до 5,4 мм и 20 мм для отложений.

Расчеты показали, что при всех расходах воды $d_0 > d_{max}$ отложений и следовательно отмытка нарушена. Проверка по ур. (14) и рис. 3 показала, что для модели $R'/R=0,45$ и следовательно на мо-

дели гряды должны были образоваться, хотя в [30] таких указаний нет. Расчеты произведены по ур. (10").

Расхождение расчета с замерами для четырех больших расходов воды получалось в пределах от 0,7 до 1,16: но малые расходы дали значительное расхождение.

Исследование на модели р. Тине дало также очень ценные данные по величине f_0 для отдельных фракций; эти точки нанесены на рис. 1 и подтвердили справедливость уравнения (7) и кривой рис. 1, вплоть до величины $d_0/d_{cp} = 0,35$, в соответствии с п. 16 статьи [31] и с тем, что дали ответы Пантелопулоса.

36. Для р. Роны [21]. В измерениях на р. Роне не определялись расходы наносов. Но эти измерения ценны тем, что были определены величины f_0 для отдельных фракций, причем измерения производились как гидравлических параметров потока, так и движений галек меченных танталом—182. Полученные три точки также нанесены на рис. 1 и также подтверждают ур. (7).

37. На рис. 5 нанесены все полученные расчетом точки по сравнению с измеренными в натуре. Степень расхождения иллюстрируется отклонением расчетных точек от прямой под углом 45° . Двухкратные отклонения от измерения в натуре в обе стороны показаны пунктирными прямыми.

На рис. 5 залитыми точками нанесены результаты расчетов по

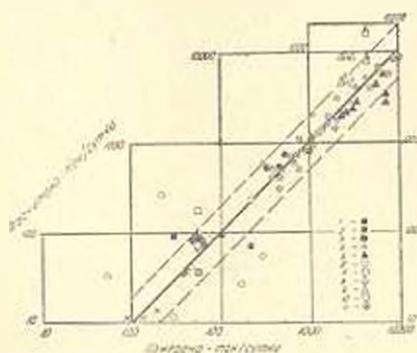


Рис. 5. По методу Егизарова: 1—ирригационные каналы США; 2—р. Моней-крик— d_{cp} по полусумме; 3—то же d_{cp} по средней геометрической; 4—р. Тине—Изола; 5—р. Каранкуль. По методу Эйштейна; 6—ирригационные каналы США; 7—р. Моней-крик; 8—р. Каранкуль. По модифицированному методу Эйштейна; 9—р. Каранкуль; 10—р. Моней-крик; 11—реки Ниобрара, Файв-Милл, Милл-луп, Снэк.

методу автора, не залитыми точками по методу Эйштейна и не залитыми точками с хвостиком сверху и кружки с крестом по модифицированному методу Эйштейна. Рис. 5 показывает, что большинство расчетных точек по предлагаемому методу автора лежит в пределах границ определяемых пунктирными прямыми, т. е. в пределах от 0,5 до 2,0. Расчетные точки по основному методу Эйштейна выходят заметно за эти пределы. Расчетные точки по произвольно модифицированному методу Эйштейна лежат в пределах 0,5 до 2,0.

38. Выше была показана исключительно большая зависимость расчетного расхода наносов от d_{50} , d_{cp} , и от отношения d_0/d_{max} , т. е. от целого семейства гранулометрических кривых натуре.

39. Ловушечные измерения наносов не могут дать доброкачественных результатов по измерению расхода наносов, но могут и

должны послужить для гранулометрического анализа наносов находящихся в движении при данных расходах воды. Этой же цели должны служить меченные краской и люминофорами камни и галька, а также меченные радиоактивными веществами галька и песок (например опыты на р. Роне у Лиона и опыты на р. Темзе).

Необходимо также совершенствовать применяемой во Франции и в США метод гидрофона, т. е. метод основанный на выслушивании шумов перемещаемых потоком наносов донным микрофоном, а также визуальные наблюдения за мечеными наносами методами телевидения.

Все эти методы позволят уточнять гранулометрические кривые наносов находящихся в движении, и в натуре определять d_0 и по уравнению (10") f_0 , как это было сделано выше для р. Роны. Такое уточнение крайне желательно, так как измерения на модели Тисе-Изола (см. выше), показали, что действительные гранулометрические кривые дают несколько более мелкий гранулометрический состав, чем кривые построенные по гранулометрической кривой полных отложений в русле, принимая за 100% ту крупность этой кривой, которая отмечает величину d_0 и соответствующему Q .

40. Особое внимание должно быть уделено методу взятия в натуре проб для построения гранулометрической кривой полных отложений наносов в русле и определению предельной крупности этих отложений. Для этих отложений неизбежно построение двух крайних гранулометрических кривых (вилки), и неизбежно проведение расчетов по определению расходов наносов по вилке гранулометрических кривых, и принятие для инженерных расчетов величины расхода наносов в пределах вилки, на основе кригического общего анализа натурных данных.

41. Для случаев, когда исследуется поток в условиях ненарушенной отмостки—пробы наносов необходимо брать по глубине в пределах двухкратной величины максимальной фракции, а при грядодообразовании в пределах двухкратной высоты гряд. Для случаев, когда исследуется поток в условиях нарушения отмостки, когда $d_{max} < d_0$, необходимо взятие проб по глубине с учетом возможного размыва, т. е. на большей глубине.

42. Методика и техника взятия проб и построения гранулометрических кривых должна всемерно разрабатываться и совершенствоваться. Решение задачи поставленной в статье минуя гранулометрические данные природы невозможно.

Поступило 20.I 1961.

Ի. Վ. ԵՂՒԱՋԱՐՈՎ

ՋՐԱՐՔՆԵՐՈՒԿՆԵՐԻ ԱՅՆ ԽԱՌՆՈՒՐԻ ԵՎ ՀՈՒՆԻ ԻՆՔՆԱՍԱԼԱՐԿԻՄԱՆ ԱՉԳԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ՝ ՋՐԱՐՔՆԵՐՈՒԿՆԵՐԻ ՇԱՐՔԻՄԱՆ ՈՒ ԿԱՆՈՒ ՎՐԱ

(Հաղորդում 2)*

Ա մ փ ո փ ո ռ մ

Հաղորդում 1-ում ցույց էր տրված ոչ միատարր խոշորություն լալն խոտնուրդի ջրարերակների հաշվարկի և բնական չափումների համեմատման անհրաժեշտությունը:

Սալն հաղորդման մեջ նշվում է ջրահալարի էությունից նեստանցով ջրարերակների ոչ հունալին մանր ֆրակցիաների թափախի գնահատման անհրաժեշտությունը:

Երրորդ մասում տրված է հաղորդում 1-ում ստաջարկված մեթոդով կատարված հաշվարկների արդյունքների համեմատությունը ժախտակին եղանակով բնականում տարված չափումների հետ:

Կարանկուղ գետի համար [9, 10, 13] հաշվումները տվել են չափված մեծությունների 0,6 միջև 1,08: Այս դեպքում ինքնաստաջարկումը խախտված է և հաշվարկի համար օգտագործված է (10¹) հատասարումը:

Մոնեյ-կրիկ գետի համար [13, 31] ջրամբարում ջրարերակների նրսավածքի վերաբերյալ կատարված հաշվարկը տվել է 10500 տոննա, իսկ բնականում չափվածը՝ 60500 տոննա (67⁰/₁₀₀): Ըստ հաշվարկի մ_ս-ի փոփոխությունը 6 - 7⁰/₁₀₀-ով տալիս է 60700 տոննա: Եթե մ_ս որոշվում է ելնելով ջարման մեջ գտնվող ջրարերակներից, ապա նստվածքների քաշը ստացվում է 8 անգամ ավելի. քան բնականում է. կթե որոշվում է միայն ըստ նստվածքի հատվածաչափական կորից ելնելով, ապա նստվածքների քաշը ստացվում է հարյուր անգամ ավելի պակաս. քան չափվածն է: Ստույի [32] կողմից էլնչտակնի մեթոդով կատարված հաշվարկը ցույց է տվել նստվածքի քաշը հրեք անգամ ավելի. քան չափվածն է:

Մոնեյ-կրիկ գետի համար սալն հարաբերությունը՝ մ_ս : մ_բ = 0,16 միջև 0,2, որը ցույց է տալիս խոտնուրդում ստաջարկման ավելի մեծ ազդեցությունը, կամ այլ կերպ՝ ազդեցությունը ինքնաստաջարկման վրա:

Ըստ հեղինակի մեթոդով կատարված հաշվարկի ԱՄՆ-ի իրիզուցիոն կանոնների համար [33, 34] ստացվել է չափված մեծությունների 0,4 միջև 1,2, այն դեպքում, երբ Կանանիսի [34] կողմից էլնչտակնի մեթոդով կատարված հաշվարկը տալիս է սկսած 0,2 միջև 1,0:

Հաշվարկները Տիեհ-իզուլա գետի [35, 36] համար տվել են չափված մեծությունների 0,7 միջև 1,16: Այս հաշվարկները ցույց են տվել, որ ընդհուպ միջև մ_ս : մ_բ = 0,35, (7) հատասարումը և նկ. 1-ի 1 կորը մնում են տմի մեջ:

Թոնոս գետի համար [36] 5-ի ստացված մեծությունները հուլնպես հաստատում են (7) հատասարումը և նկ. 1-ը:

* Տես [31]. Բանաձևերի, նկարների և գրականության համարակալումը շարունակված է հաղորդում 1-ից:

Բոլոր համեմատությունների արդյունքները բերված են նկ. 5-ում, որտեղ լրված կետերը վերաբերում են հեղինակի կողմից առաջարկված մեթոդին, իսկ չլրված կետերը՝ Էյնշտեյնի մեթոդին:

Ցույց է տրվում շարժման մեջ ջրարերսովների վրա հատիկաչափային կորի էական ազդեցությունը, որը հնարավոր է ստանալ ականտոններից վերցնելով նմուշներ, հիդրոֆոնների նշահարված հատիկների օգնությամբ, ինչպես և նշված է այդ կորերի ստացման մեթոդների կատարելագործման անհրաժեշտությունը:

PROFESSOR I. EGIAZAROFF

LARGE RANGE MIXTURE SEDIMENT MOVEMENT AND DISCHARGE, SHADOWING AND SELF-PAVEMENT EFFECTS

Communication 2

In communication No 1, [31] the necessity of calculations results comparison with prototype field measurements was shown, for unihomogeneous as to size large range mixtures of sediments.

In the present communication the importance of the „wash“ load, that is the non-channel fine sediments provided by the erosion of the watershed area is emphasized.

In part III the results of calculation results, by the method proposed in communication No 1, are compared with prototype, field, measurements made by the sedimentation volume method.

For river Karankul [9, 10, 13] calculations have given from 0.6 to 1.08 of the measured values. In this case the self-pavement is destroyed and eq. (10') is used.

For Money-creek [13, 32] the calculation has given for the Blumington reservoir a sedimentation weight of 40900 tons, as compared with 60.500 tons measured (67 percent). A change of the value of d_{av} , of only 6—7 percent gives by calculation 60.700 tons.

If d_{av} is determined only by the gravulometric curve for the moving sediment sizes then the sedimentation weight is 8 times greater than the measured; if d_{av} is determined only by the granulometric curve for the total sediments of the channel then the sedimentation volume is hundred times less than the measured one.

The weight calculated by Stall [32] by the Einstein method was 3 times greater than the measured one.

The relation of $d_{50}/d_{av} = 0.16$ to 0.2 for Money-creek, which shows the great shadowing or self-pavement effect.

For 13 US Irrigation canals ([33, 34] Simons and Bender data) calculations by the authors method have given 0.4 to 1.7 the measured va-

* The numbers of articles formulas figures and bibliographic annotations are continued from communication [31].

ues, as compared with Kalkanis calculations by the Einstein method, which gave from 0,2 to 1,9 of the measured values.

For river Tine-Isola [35, 36] the calculations have given from 0.7 to 1,16 of the measured values. These calculation have shown that up to $d_s/d_{s0} = 0,35$ the value of f_0 is presented by curve of eq. (7) and fig. 1.

For river Rhone [36] the values of f_0 measured by the radioactive tantal—182 tracers are confirming eq. (7) and fig. 1.

All these results are shown on fig. 5 with two dashed lines for 0.5 and 2,0 times values as compared with prototype field measurements. On fig. 5 the filled points correspond to values by the authors method, and the non filled points by the Einstein 1950 method.

At last the importance of the granulometric curve for the sediments in movement, the possibility of obtaining such curves by the trap methods, by the hydrophone method and the radioactive tracers method are emphasized. Also the necessity of perfecting, improving, the methods of field determination of the granulometric curve for the total channel sediments is noted.

Л И Т Е Р А Т У Р А

31. *Егизаров И. В.* Влияние шириной смеги наносов и самоотмостки русла на движение и расход наносов. Сообщение 1. Известия АН Армянской ССР, серия Т. Н., т. XVII, № 2, 1964.
32. *I. B. Stall, L. Kopzi and P. K. Kandaswamy.* Sediment transport in Money-creek. Pr. ASCE Hydr. d. 1958 February.
33. *D. B. Simmons and M. I. Albertson.* Uniform water conveyance channels in alluvial material. Pr. ASCE Hydr. d. 1960, May.
34. Same—Discussion by Kalkanis. Pr. ASCE Hydr. d. 1960.
35. *A. Nizery and G. Bradeau.* Variation in grain size distribution of bed load in a river section. 5-th Congress IAHK Minnesota, 1953.
36. *Ramette et Henzel.* Le Rhone a Lyon, Etude d'entrainement des galets a l'aide des traceurs radioactifs. „Houille Blanche”, 1962, № A.

ТЕПЛОТЕХНИКА

Н. Г. ТАРАНЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООТДАЧИ И АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО
СОПРОТИВЛЕНИЯ ПУЧКА ОРЕБРЕННЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ
ЦЕЛЬНОКАТАНЫХ ТРУБОК

1. Теплообменные аппараты, изготовленные из алюминиевых цельнокатаных трубок с винтовыми ребрами, нашли применение в системе охлаждения энергетических и теплосиловых установок. Несмотря на это, в литературе отсутствуют достаточно обоснованные данные по теплоотдаче и аэродинамическому сопротивлению пучка из таких трубок. В настоящей статье рассматриваются результаты исследования теплоотдачи и аэродинамического сопротивления модели шахматного пучка из круглых цельнокатаных алюминиевых трубок с винтовым оребрением. Для исследования была изготовлена модель шахматного пучка из 25 алюминиевых трубок. Оребренные трубки имели следующие характеристики: внутренний диаметр $d_{вн} = 8$ мм; наружный диаметр $d = 12$ мм; диаметр по оребрению $D = 27,5$ мм; средняя толщина ребра $\delta = 0,5$ мм; высота ребра $h = 7,75$ мм; количество ребер на 1 пог. м трубки $n = 3,35$ шт.; шаг оребрения $l = 3$ мм; удельная наружная поверхность трубки $F = 0,31$ м²/м; коэффициент оребрения $\varphi = 9$; вес трубки 0,43 кг/м.

Исследования проводились в аэродинамической трубе разомкнутого типа, присоединенной к всасывающему отверстию вентилятора. Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Пучок труб соединяли две камеры — верхняя и нижняя. Пучок омывался поперечным потоком воздуха. Нагрев воды осуществлялся в баке 1 при помощи секционного электронагревателя. Мощность нагревателя регулировалась при помощи реостата. Горячая вода из бака 1 через вентиль *a* поступала в мерный бак 2. Вода в баке при помощи переливной трубы *ж* поддерживалась на постоянном уровне. Из бака 2 вода поступала в бак 3, выполненный из плексигласа. Очищенная от воздуха вода из бака 3 поступала в теплообменник 7. Вода в теплообменнике через испытательные трубки проходила из нижней камеры в верхнюю, охлаждалась и попадала в бак 3, затем по сливной трубе переливалась в сборный бак 14, откуда возвращалась насосом 15 в нагревательный бак 1. Стеклопипеточные трубки 4 служили для удаления воздуха, выделяющегося в системе. Изменение расхода воды достигалось перемещением баков 2 и 3 по вертикали, вдоль направляющих штанг I, II, III. Работа бака 2 контролировалась при помощи вентилей

лей *b*, *c*, *d* и баков *З*. Регулировка расхода воды перед началом каждого опыта и в процессе опыта производилась с помощью зажима, установленного на резиновом шланге при выходе из верхней камеры. Во избежание потерь тепла пучок был изолирован асбестовым шнуром и войлоком. Расход воды через пучок измерялся дроссельной

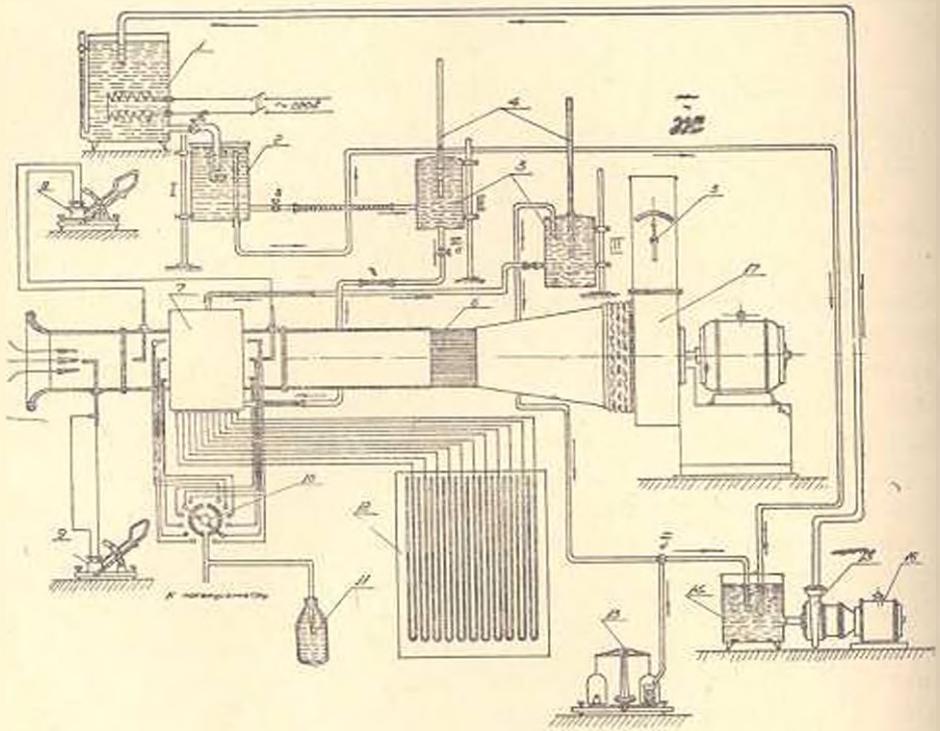


Рис 1

шайбой, которая была предварительно градуирована с помощью мерных сосудов. Перед началом опыта производилась контрольная градуировка шайбы.

Общее количество тепла определялось по расходу воздуха и по разности температур на входе и выходе потока. Температура воздуха измерялась термометрами сопротивления, которые были установлены на входе и выходе потока воздуха (по 6 штук с каждой стороны). Термометры сопротивления располагались симметрично относительно оси канала и пучка. Из них четыре штуки были установлены по высоте, а две — по ширине рабочей части аэродинамической трубы. Замер температуры воздуха контролировался ртутным термометром, с ценой деления 0,1 С.

Для определения скорости набегающего потока воздуха на расстоянии 200 мм от входа в трубу помещалась насадка электротермоанемометра типа ЭТАМ-3А, системы ВЭИ. Для определения средней скорости набегающего потока воздуха производились измерения полей скорости и строились эпюры скоростей. Затем определялись интегральные значения скоростей и коэффициентов поля. Во всех точ-

их поля скорости были достаточно равномерными, поэтому в опытах ограничивались замером скорости лишь в одном сечении трубы. Показания электротермоанемометра контролировались эталонной трубкой Прандтля.

Скорость воздуха в процессе исследования изменялась от 2 до 20 м/сек. Регулирование расхода воздуха через пучок производилось с помощью заслонки 5 (рис. 1) на нагнетальном патрубке вентилятора. Все отсчеты по приборам производились при достижении стационарного теплового состояния, которое характеризовалось постоянством температуры, а также расхода воды и воздуха во времени.

2. Количество переданного воздуху тепла Q определялось по расходу воздуха и изменению его температуры. Средняя температура воздуха на выходе из теплообменника определялась по формуле:

$$t = \frac{\int U \cdot c_p \cdot t df}{\int U \cdot c_p \cdot df} \quad (1)$$

где $U = w \cdot \gamma$ — весовая скорость воздуха $\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \text{сек}}$;

c_p — весовая теплоемкость воздуха $\frac{\text{ккал}}{\text{кг.град.}}$;

f — площадь поперечного сечения потока воздуха м^2 .

Отклонение температуры выходящего из теплообменника воздуха в ядро потока, относительно температуры точек расположенных дальше ядра, составляло: 0,5 С при режиме $U \leq 5 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$; 1,5°С при режиме

$U > 5 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$. За тепловую нагрузку теплообменника принималось количество тепла, отданного воздухом за час. На основании измерений общий коэффициент теплопередачи определялся по формуле

$$K = \frac{Q}{F_{\text{усл.}} \cdot \Delta t_{\text{лог.}}} \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \text{час град}} \quad (2)$$

где $\Delta t_{\text{лог.}}$ — средняя логарифмическая разность температур °С;

$F_{\text{усл.}}$ — поверхность теплопередачи в м^2 , которая условно принята равной наружной поверхности базовой трубки, несущей оребрение.

Коэффициент теплоотдачи на оребренной поверхности α относился к условной поверхности $F_{\text{усл.}}$ и определялся по формуле

$$\alpha = \frac{K \cdot a_s}{a_s} \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \text{час град}} \quad (3)$$

где a_s — коэффициент теплоотдачи на внутренней поверхности трубки, определялся по формуле предложенной А. М. Михеевым [1]:

$$\alpha_c = 0,023 \frac{\lambda}{d_c} \cdot R_c^{0,8} \cdot P_r^{0,43} \cdot \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{град}} \quad (4)$$

Из формулы (4) следует, что при турбулентном режиме теплоотдача в основном зависит от скорости течения воды. Поэтому в опытах скорости воды внутри трубок устанавливались такими, чтобы коэффициент теплоотдачи от воды к стенке составлял 6000—8000 $\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{град}}$.

Экспериментальные данные по теплоотдаче обрабатывались в следующих безразмерных критериях теплового подобия:

$$Nu = A \cdot Re^a \cdot P_r^b \cdot (P_r / P_r^*)^c, \quad (5)$$

где

$$Nu = \frac{\alpha \cdot d_w}{\lambda}, \quad Re = \frac{U \cdot d_w}{\nu}, \quad Pr = \frac{\rho \cdot g \cdot c_p}{\lambda}.$$

Имея в виду, что опыты производились при незначительном изменении температуры среды отношении $P_r / P_r^* \approx 1$ и на основании [1,2] для воздуха можно принять $P_r^{0,43} = (0,7)^{0,43} \approx 0,856$. Поэтому уравнение (5) применительно к рассматриваемому случаю будет иметь вид

$$Nu = A_1 \cdot Re^a \quad (6)$$

На рис. 2 в логарифмической системе координат кружочками показаны результаты экспериментальных исследований автора. Результаты опыта описываются уравнением (6) при $A_1 = 0,51$ и $a = 0,67$.

Все физические константы, входящие в критерии подобия (теплопроводность λ , кинематическая и динамическая вязкости ν и η , плотность ρ) определялись при средних температурах и давлении в пучке трубок теплообменника. Работами [2—6] показано, что такой способ обработки дает результаты наилучшим образом учитывающие влияние направления теплового потока. Скорость в критериях Re и Eu определялись по суживающемуся сечению пучка. Средняя скорость потока в суживающемся сечении пучка

где ψ — коэффициент сужения, определяется как отношение сечения канала, по которому поступает воздух от вентилятора, к живому сечению пучка;

$$W^* = \psi \cdot k \sqrt{\frac{2g \cdot \Delta h}{\gamma}} \text{ м/сек}, \quad (7)$$

где ψ — коэффициент сужения, определяется как отношение сечения канала, по которому поступает воздух от вентилятора, к живому сечению пучка;

k — коэффициент тарировки скоростной насадки.

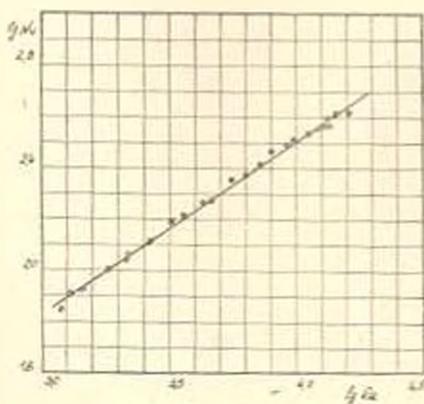


Рис. 2.

3. Аэродинамическое сопротивление межтрубного пространства теплообменника при прохождении по нему воздуха исследовалось в неадиабатических, и в изотермических условиях.

Как показали предварительные исследования, аэродинамическое сопротивление пучка при изотермическом потоке и при теплообмене практически имеет одно и то же значение, если ввести температурную поправку.

$$\Delta P = \frac{t_2 - t_1}{T} \rho W^2 \frac{K_2}{\text{см}^2}, \quad (8)$$

где W — средняя скорость потока в пучке, подсчитанная по формуле (7)

t_1 — температура потока воздуха при входе в пучок в °C;

t_2 — температура потока при выходе из пучка в °C;

$T = 273 + \frac{t_1 + t_2}{2}$ — абсолютная температура потока воздуха.

Замер перепада статических давлений производился через трубки Нифера. Замеры дублировались и в точности совпадали. На основании полученных данных о падении ΔP вычислялись значения критерия Эйлера, отнесенного к одному ряду трубок

$$\frac{Eu}{m} = \frac{\Delta P \cdot R}{\rho W^2}. \quad (9)$$

Найденные таким образом значения Eu/m обобщались на основании уравнения

$$\frac{Eu}{m} = C \cdot Re^n, \quad (10)$$

где m — число рядов трубок в пучке (в направлении потока).

Результаты опытного исследования представлены в логарифмической системе координат в виде кружочков (рис. 3). Опытные дан-

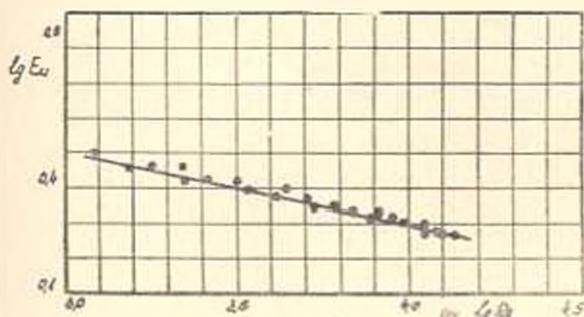


Рис. 3.

ные можно аппроксимировать прямой, показанной на рис. 3. Эта прямая описывается уравнением

$$Eu = 1,12 \cdot m Re^{-0,3}. \quad (11)$$

Показатель степени при числе Re в известной степени характе-

редует эффективность оребрения. Чем меньше показатель степени, тем менее эффективно используется поверхность оребрения. В нашем случае показатель степени для коэффициента теплоотдачи составляет $\alpha = 0,67$, а для сопротивления — $0,20$. Высокое значение показателя степени при Re для данного пучка объясняется тем, что условия обтекания пучка из трубок с круглыми и непрерывными спиральными ребрами различные. В первом случае поток обтекаемого воздуха движется параллельно плоскостям ребер, где не замечается срыва струи потока, а во втором случае поток рассекается винтовой поверхностью, которую образуют непрерывные спиральные ребра. Надо полагать, что срыв сопровождается вихревым движением потока воздуха. Пограничный слой около торцовых частей ребер, по-видимому деформируется и процесс теплообмена интенсифицируется. Поэтому коэффициент теплоотдачи для трубок с непрерывным спиральным оребрением больше, чем для трубок с круглыми ребрами.

АФВНИИЭМ

Поступило 18.VI 1963

Ի. Գ. ՔԱՌԱՆՅԱՆ

ԿՈՂԵՐՈՎ ԱՆՅՈՒՄԻՆՆ ԽՈՂՈՎԱԿՆԵՐՈՅ ԲԱՂԿԱՑԱԾ ՓՆՋԻ ՋԵՐՈՄԱՏՆՈՒՓՅԱՆ,
ԵՎ ԱՔՐՈՒՄԻՆԱՄԻՎԱԿԱՆ ԿՈՒՄԿՐՈՒՓՅԱՆ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒՄԻՓՅՈՒՆԸ

Ա. մ. փ. ո. փ. ո. մ.

ժամանակակից ջերմակներդիտիկ և ջերմատուաչին սարքավորումները հոգաքման սխտեմներում օգտագործվում են ջերմափոխանակիչներ, որոնք մեծաաամբ թողարկվում են պղնձից և այլ թանկարժեք գունավոր մետաղներից: Վերջին ժամանակներս հետադոսական աշխատանքներ տարվում են նման ջերմափոխանակիչներում, այդ մետաղների փոխարեն ալյումինում օգտագործելու ուղղությամբ:

Ներկա հոգաքմում բերված են պատասակավոր կողերով ալյումինիկ խողովակներից շախմատաձև փնջի ջերմատուաչյան և ալերդինամիկական դիմադրության դորձակիցների ուսումնասիրությունը, երբ վերջինս շրջհոսվում է օդի լայնական հոսքով: Փորձի արդյունքները ընդունրացված են կրիտերիայ մեծությունների օգնությամբ և բերված են հավասարումներ, որոնցով հնարավոր է հաշվարկել նման ջերմափոխանակիչներ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Михеев М. А. Основы теплопередачи. Госэнергоиздат, 1956.
2. Михеев М. А. Известия АН СССР, ОТИ, № 10, 1952.
3. Алашоев Н. Т., Михеев М. А., Федынский О. С. Известия АН СССР, ОТИ № 1, 1951.
4. Жукаускас А. А. Журн. „Теплоэнергетика“, № 4, 1955.
5. Антудьев В. М. и Белецкий Г. С. Теплопередача и аэродинамическое сопротивление трубчатых поверхностей и поперечном потоке, Машгиз, 1948.
6. Антудьев В. М. Журн. „Теплоэнергетика“, № 4, 1962.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Р. С. АВЕТИСЯН

О ПОТЕРЯХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ПРОГРЕВЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА СТЕНДАХ

В целях увеличения производительности стенов по изготовлению предварительно напряженных железобетонных конструкций применяется прогрев бетона. При этом в результате прогрева происходят потери предварительного напряжения в арматуре внутри конструкций а в промежутках между ними, в процессе охлаждения конструкций напряжение в арматуре увеличивается, что может привести к возникновению трещин в бетоне, а также к разрыву арматуры между конструкциями. Для объяснения этих явлений В. В. Михайлов [1] рассматривал стенд, на котором изделия бетонируются и прогреваются сразу по всей его длине. Однако современные стенды для изготовления предварительно напряженных конструкций достигают в длину 200 и более метров и производить бетонирование и прогрев изделий сразу по всей длине стенда не всегда возможно. Поэтому, для уточнения величины потерь предварительного натяжения в арматуре от прогрева изделий рассмотрим схему, в которой изделия бетонируются и прогреваются последовательно по одному (рис. 1). При натяжении арматуры в ней по всей длине стенда l

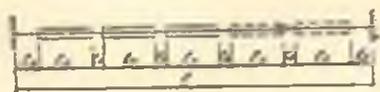


Рис. 1.

возникает равномерное предварительное напряжение σ_{a0} . В первую конструкцию (или первую группу конструкций) длиной l_k укладывается бетонная смесь. Затем температура на стенде понижается, при этом тело свежесложенного бетона расширяется, а в арматуре по всей длине стенда из-за температурного удлинения величина предварительного напряжения уменьшается. В этом состоянии происходит схватывание бетона и его сцепление с арматурой. При нагревании стенда на $t = t_1 - t_0$ градусов в пределах забетонированной конструкции напряжение в арматуре уменьшится [2] и достигнет величины

$$\sigma_{a1} = \sigma_{a0} - \alpha E_a \Delta t l_k \quad (1)$$

где α и E_a коэффициент линейного расширения и модуль упругости арматуры.

После прогрева и охлаждения изделий произойдет укорочение арматуры по всей длине l и самой конструкции. Однако укорочению арматуры будут препятствовать упоры стенда, в результате чего

напряжение в арматуре вне изделия увеличится и, вследствие наличия сцепления, бетон будет растягиваться. Напряжения в арматуре в пределах габаритов конструкции достигнут величины σ_{20} , а на свободных участках — σ_{21} . в бетоне возникнут растягивающие напряжения — σ_6 . Перегрузировке напряжений будет способствовать также усадка бетона в процессе прогрева. Перейдем к определению величин σ_6 , σ_{20} и σ_{21} следуя [1]. Из условия постоянства расстояния между упорами стенда получим:

$$(l - l_k) \frac{\sigma_{20} - \sigma_{21}}{E_n} = l_k \frac{\sigma_{20} - \sigma_{21}}{E_a} \quad (2)$$

Из условия совместности деформаций арматуры и бетона внутри конструкции получим:

$$\sigma_{21} - \sigma_{20} = \frac{E_a}{E_b} (\sigma_6 - \beta E_b), \quad (3)$$

где β — коэффициент усадки бетона после прогрева,

E_b — модуль упругости бетона.

Из условия равновесия сил после охлаждения стенда:

$$\sigma_6 = (\sigma_{21} - \sigma_{20}) \frac{F_a}{F_b}, \quad (4)$$

где F_a и F_b — соответственно площади сечения арматуры и бетона конструкции.

Примем следующие обозначения:

$$n = E_a/E_b, \quad \mu = F_a/F_b, \quad \xi_1 = (l - l_k)/l_k,$$

$$\eta_0 = \frac{\mu n (\xi_1 + 1)}{\xi_1 + \mu n (\xi_1 + 1)}, \quad \text{и} \quad z = \frac{l_k}{l}.$$

В силу (1) — (4) и принятых обозначений получим следующие выражения для определения напряжений после бетонирования прогрева и охлаждения первой конструкции:

$$\text{напряжения в бетоне } \sigma_{61} = (z\xi_1 + \beta) E_b \eta_0; \quad (5)$$

напряжения в арматуре вне конструкции

$$\sigma_{211} = \sigma_{20} + (z\xi_1 + \beta) E_a \frac{1 - \eta_0}{\xi_1}; \quad (6)$$

напряжения в арматуре внутри конструкции

$$\sigma_{212} = \sigma_{20} - (z\xi_1 + \beta) E_a (1 - \eta_0). \quad (7)$$

Здесь и дальше индекс у коэффициентов μ , ξ и η , второй индекс у σ_6 и третий индекс у σ_{211} и σ_{212} обозначает порядковый номер конструкции. При бетонировании m -ой конструкции длина стенда станет равной

$$l_m = l - l_y - (m - 2)l_n - (m - 1)l_k = l_k + l_n + l_y.$$

После бетонирования и прогрева m -ой конструкции напряжение в бетоне будет равно

$$\sigma_{bm} = (\alpha t \lambda_m + \beta) \tau_m E_b, \quad (5')$$

напряжение в арматуре вне конструкции будет равно:

$$\sigma_{anm} = \sigma_{a0} + \alpha t E_a \sum_{i=1}^m \frac{1 - \eta_i}{(\xi_i + 1) \xi_i} + \beta E_a \sum_{i=1}^m \frac{1 - \eta_i}{\xi_i}. \quad (6')$$

Напряжение в арматуре внутри конструкции будет равно:

$$\sigma_{aim} = \sigma_{a0} - \alpha t E_a \left(\frac{1 - \eta_m}{\xi_m + 1} - \sum_{i=1}^{m-1} \frac{1 - \eta_i}{(\xi_i + 1) \xi_i} \right) + \beta E_a \left(1 - \eta_m - \sum_{i=1}^{m-1} \frac{1 - \eta_i}{\xi_i} \right), \quad (7')$$

где

$$\xi_i = \frac{l - l_v - (i - 2) l_k - i l_n}{l_k}, \quad (8)$$

$$\eta_i = \frac{\mu (\xi_i + 1)}{\xi_i + \mu (\xi_i + 1)}. \quad (9)$$

Пример⁵. На стенде длиной $l = 136$ м изготавливаются последовательно 5 балок длиной по $l_k = 24$ м

$l_v = 6$ м; $l_n = 1$ м; $\sigma_{a0} = 11000$ кг/см²; $\mu = 0,03$; $t = 30^\circ$; $\beta = 10 \cdot 10^{-5}$; $\alpha = 1 \cdot 10^{-5}$; $E_b = 250000$ кг/см²; $E_a = 2000000$ кг/см²; $n = 8$.

В табл. 1 приведены величины напряжений σ_b , σ_{an} и σ_{av} , вычисленные по формулам (5'), (6'), (7'), (8) и (9) для разных балок в предположении их последовательного изготовления.

В нижней строке табл. 1 приведены результаты расчета В. В. Михайлова. Из табл. 1 видно, что σ_b во всех балках ниже и только в последней балке Б-5 подходит близко к значению, полученному В. В. Михайловым.

То же самое получается для напряжений σ_{an} в арматуре на участках между балками.

Напряжения в арматуре внутри балок несколько выше чем в [1]. Разумеется, при оценке

величины потерь предварительного напряжения от прогрева конструкций на стендах следует брать наименьшие величины, т. е. для первых балок.

Необходимо обратить внимание на то, что при охлаждении стенда возникают большие деформации растяжения бетона и арматуры после пропаривания последней конструкции.

* Для сравнения взят пример из [1].

Таблица 1

Номера балок	σ_b (кг./мм ²)	σ_{an} (кг./мм ²)	σ_{av} (кг./мм ²)
Б-1	8,6	110	108
Б-2	9,8	111	108
Б-3	12,1	112	108
Б-4	17	116	110
Б-5	43	125	113
По формуле [1]	67,0	130	107

В ней величина σ_0 больше предельной величины растягивающих напряжений в бетоне — R_p^n . В действительности же большая пластичность бетона в раннем возрасте помогает ему воспринимать большие деформации без разрывов, в результате чего фактическое σ_{00} увеличивается и уменьшается величина σ_{01} . Сближению значений напряжений σ_{00} и σ_{01} также способствуют пластические свойства высокопрочной арматуры.

Уточним вышеприведенные формулы, допустив в качестве предельной величины растяжимости бетона $\sigma_0 = R_p^n$ и обозначив предельную пластическую деформацию бетона при растяжении ϵ_n . Опять следуя [1] при бетонировании первого изделия, получим

$$\sigma_{001} = \sigma_{00} + \frac{1}{\xi_1} (\alpha t E_a x_1 + \beta E_a - n R_p^n - \epsilon_n E_a), \quad (10)$$

$$\sigma_{001} = \sigma_{00} - \alpha t E_a x_1 - \beta E_a + n R_p^n + \epsilon_n E_a. \quad (11)$$

Подставив в (10) и (11) значение

$$\sigma_{001} - \sigma_{001} = \frac{\sigma_{01}}{\mu} = \frac{R_p^n}{\mu}$$

получим величину наибольшего допустимого температурного перепада — t , не приводящего к появлению трещин в бетоне.

$$t = \frac{1}{\alpha x_1} \left(\epsilon_n - \beta + \frac{R_p^n}{\eta_1 E_0} \right). \quad (12)$$

В общем случае при последовательном бетонировании и прогреве ряда изделий на стенде получим

$$\sigma_{0nm} = \sigma_{00} + (\alpha t E_a \sum_{i=1}^m \frac{1}{(\xi_i + 1) \xi_i} + (\beta E_a - n R_p^n - \epsilon_n E_a) \sum_{i=1}^m \frac{1}{\xi_i}), \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{0nm} = \sigma_{00} - \alpha t E_a \left(\frac{1}{\xi_m + 1} - \sum_{i=1}^{m-1} \frac{1}{(\xi_i + 1) \xi_i} \right) - \beta E_a - n R_p^n - \\ - \epsilon_n E_a \left(1 - \sum_{i=1}^{m-1} \frac{1}{\xi_i} \right), \end{aligned} \quad (14)$$

$$t = \frac{1}{\alpha x_1} \left(\epsilon_n - \beta + \frac{R_p^n}{\eta_m E_0} \right), \quad (15)$$

где коэффициенты ξ и η определяются по формулам (8) и (9).

Пользуясь числовыми значениями того же примера оценим величины t для ряда изделий с учетом пластических свойств бетона. Примем бетон марки 400, $R_p^n = 25$, $\epsilon_n = 30 \cdot 10^{-5}$. Результаты расчета по формуле (15) приведены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, во всех балках можно допустить практически любую величину температурного перепада.

Подробнее рассмотрим величину температурного перепада $t = t_2 - t_0$. При прогреве первого изделия будет нагреваться участок

ժամանակ ամրանի լարումները շրտոնված տեղամասերում ավելանում են, սակայն շինվածքի մեջ լարումների ավելացմանը խոչընդոտում է բեռոնը, որի հետևանքով շինվածքի բևտոնում սառչումում են ձգող լարումները, որոնք իրենց մեծությամբ երբևիցե գերազանցում են բևտոնի ձգման սահմանային ամրությանը և հանդեպում են բևտոնի ճաքերի ամրացմանը:

Բերված են րանաձևեր, որոնցով որոշվում են հաջորդաբար բևտոնվող շրտաքանչյուր կոնստրուկցիայի ամրանի լարումները և բևտոնի շոգեատաքացման ջերմաստիճանի թուլաարևի մեծությունը՝ ելնելով բևտոնի սահմանային պլաստիկական ակտիվացիաներից ու ձգման սահմանային ամրությունից: շոգեատաքացումից հետո բևտոնի կմխման գործակցից, ամրանավորման գործակցից և ստենդի վրա շինվածքի ավելու պիրքից: Ետևաքացման ամենացած թուլաարևի ֆերմաստիճանը և շինվածքից դուրս ամրանի մեջ ամենամեծ լարումներն ստացվում են վերջին շինվածքի շոգեատաքացումից ու հովացումից հետո (աղյուսակ 2): Այդ իսկ պատճառով հանձնարարվում է ստենդի վրա շինվածքները տեղադրել այնպես, որ վերջին շինվածքների երկու կողմերից էլ մեան շրտոնված հարյուրերի չափ մեծ տեղամասեր, ինչպես նաև ամրանի թողքը կատարել մինչև վերջին շինվածքի հովացումը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В. В. Михайлов. Предварительно напряженные железобетонные конструкции. М., 1963.
2. С. А. Дмитриев, Б. А. Калатуров. Расчет предварительно напряженных железобетонных конструкций. М., 1963.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

В. Н. ГУСАКОВ, К. О. КАРАМЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ САМОЗААНКЕРИВАНИЯ АРМАТУРЫ В ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ СИЛИКАТО-БЕТОННЫХ БАЛКАХ

Исследованию сцепления арматуры с обычным бетоном посвящено много работ. Ряд специальных экспериментальных и теоретических исследований посвящен определению характера распределения напряжений по длине зоны самозаанкеривания в арматуре и в бетоне. Некоторыми исследователями (А. А. Гвоздев, Менс, Бишара и др.) характер изменений деформаций по длине зоны самозаанкеривания определялся путем замера деформаций арматуры. Другие исследователи (К. В. Михайлов, Цай Шао Хуай и др.) эту задачу решили путем измерения деформаций бетона. В проведенном нами исследовании характер распределения напряжений по длине зоны самозаанкеривания арматуры в силикатном бетоне определялся путем одновременного измерения деформаций арматуры и бетона.

В 1947 г. проф. А. А. Гвоздевым был предложен новый способ измерения продольных деформаций в арматуре без искажения действительных условий сцепления контактных поверхностей арматуры и бетона, заключающийся в приклейке тензодатчиков сопротивлений в продольные пазы растянутой арматуры.

Такой способ измерения деформаций в арматуре конструкций из силикатного бетона оказался неприемлемым ввиду того, что в процессе автоклавной обработки этих конструкций в водонасыщенной среде при давлении 8—10 атмосфер и температуре 175—185°, сцепление тензодатчиков с арматурой нарушалось из-за размягчения и порчи клея. Поэтому возникла необходимость разработки способа приклейки тензодатчиков к арматуре после изготовления и автоклавной обработки конструкций, без повреждения бетона в месте контакта с арматурой. Такой способ был разработан в лаборатории силикатных бетонов ВНИИ новых строительных материалов. Применение этого способа потребовало замены арматуры сплошного сечения трубчатой.

Характеристики балок бетона и трубчатой арматуры, примененной в опытах, приведены в табл. 1.

Для изготовления балок (рис. 1) применялась силикатобетонная смесь, состоящая из известково-песчаного вяжущего, карьерного песка и воды. Вяжущее готовилось путем совместного помола негаше-

Таблица

Номера балок	Усилие прес-варительного обжатия бетона (кг)	Предел прочности бетона на сжатие (кг/см ²)	Размеры сечения балок (см)		E_b (кг/см ²)	Характеристика трубчатой арматуры					$\frac{E_a}{E_b}$ $n = \frac{F_a}{F_b}$	$\frac{F_a}{F_b}$
			ширина	высота		d_n (см)	$t_{\text{вн}}$ (см)	F_a (см ²)	E_a (кг/см ²)	n_1 (кг/см ²)		
БП6	2560	352	12	20	$2 \cdot 10^5$	2,2	1,9	0,97	$1,9 \cdot 10^4$	3400	9,5	0,004
БП5	2360	352	12	20	$2 \cdot 10^5$	2,2	1,9	0,97	$1,9 \cdot 10^4$	3400	9,5	0,004
БП4	3500	308	12	20	$1,85 \cdot 10^5$	2,2	1,65	1,8	$2 \cdot 10^4$	3100	10,8	0,0075
БП3	3020	308	12	20	$1,85 \cdot 10^5$	2,2	1,65	1,8	$2 \cdot 10^4$	3100	10,8	0,0075
БП2	2660	315	10	10	$1,6 \cdot 10^5$	2,2	1,65	1,8	$1,9 \cdot 10^4$	3400	11,8	0,018

Примечание: Расположение арматуры в балках БП3, БП4, БП5 и БП6 показано на рис. 1. Арматура балки БП2 была расположена в центре тяжести сечения.

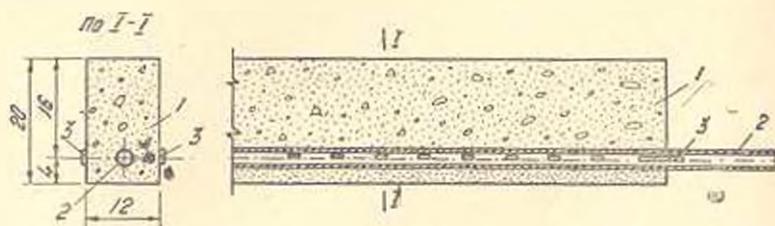


Рис. 1. Продольный разрез и сечение силикато-бетонных балок БП2—БП6. 1—балка; 2—трубчатая арматура; 3—датчики сопротивления.

ной извести, песка и гипса в мельнице типа СМ 14. После помола удельная поверхность песка в вяжущем составляла $2000 \text{ см}^2/\text{г}$, а вяжущего $5500 \text{ см}^2/\text{г}$. Общая удельная поверхность молотой и немолотой частей песка в смеси была в пределах $350 \div 380 \text{ см}^2/\text{г}$. Содержание активной СаО в смеси составляло 7%. Влажность смеси менялась в пределах $12 \div 13\%$.

Изготовление смеси и ее укладка в формы велись на оборудовании, применяемом на заводах, выпускающих железобетонные строительные детали. Отформированные балки подвергались автоклавной обработке при давлении 8 атм и температуре 173° в течение 8 часов. Подъем давления осуществлялся в течение двух часов, а снижение трех часов. Перед отпуском натяжения на внутреннюю поверхность трубы у концов и в средней части наклеивались тензодатчики, которые позволили зафиксировать деформации арматуры в процессе отпуска.

Для рассматриваемых балок, можно сделать допущение о справедливости, в конце зоны анкеровки, гипотезы плоских сечений, поскольку длина этой зоны приблизительно равна двум высотам балки. В этом случае можно выяснить относительные деформации арматуры и бетона на уровне арматуры.

Обозначим эти деформации в конце зоны анкеровки через ε_a и ε_b , а относительные деформации арматуры в момент отпуска через ε_0 . Относительные деформации бетона будут равны:

$$\varepsilon_b = \varepsilon_b^* + \varepsilon_0, \quad (1)$$

где ε_b^* — относительные деформации от воздействия нормальной силы обжатия;

ε_0 — относительные деформации от воздействия изгибающего момента.

Из условия совместности деформаций бетона и арматуры в конце зоны анкеровки получим:

$$\varepsilon_0 = \varepsilon_b + \varepsilon_a. \quad (2)$$

Из условия совместности деформаций арматуры и бетона и равенства нулю проекции сил на ось элемента получим:

$$\varepsilon_0 = \frac{n\mu}{n\mu + 1} \varepsilon_0. \quad (3)$$

Из условия равенства нулю моментов внешних и внутренних сил относительно центра тяжести сечения находим:

$$\varepsilon_0 = \frac{n\mu}{0,92 + n\mu} \varepsilon_0. \quad (4)$$

В силу (1)–(4) получим окончательно следующие выражения относительных деформаций бетона и арматуры:

$$\varepsilon_b = \left(\frac{n\mu}{1 + n\mu} + \frac{n\mu}{0,92 + n\mu} \right) \varepsilon_0; \quad (5)$$

$$\varepsilon_a = \left[1 - \left(\frac{n\mu}{1 + n\mu} + \frac{n\mu}{0,92 + n\mu} \right) \right] \varepsilon_0. \quad (6)$$

Величины ε_b и ε_a сохраняют свое постоянное значение по всей длине балки, кроме зон самоанкеривания. В зонах самоанкеривания относительные деформации в арматуре и в бетоне уменьшаются соответственно на величины $\Delta\varepsilon_a$ и $\Delta\varepsilon_b$. Эти величины могут быть представлены в функции расстояния x , рассматриваемого сечения от конца зоны самоанкеривания [1]:

$$\Delta\varepsilon_b = \left[1 - \cos^z \left(\frac{\pi}{2l} x \right) \right] \varepsilon_b; \quad (7)$$

$$\Delta\varepsilon_a = \left[1 - \cos^z \left(\frac{\pi}{2l} x \right) \right] \varepsilon_a, \quad (8)$$

где l — длина зоны самоанкеривания; z — параметр.

Величину относительных деформаций бетона в зоне самоанкеривания арматуры, в опорных участках балки, находим на основании уравнений (5) и (7):

$$\varepsilon_b(x) = \varepsilon_b - \Delta\varepsilon_b = \varepsilon_b \cos^z \frac{\pi x}{2l}. \quad (9)$$

Соответствующие относительные деформации арматуры находим на основании выражений (6) и (8):

$$\varepsilon_s(x) = \varepsilon_s - \Delta \varepsilon_s = \varepsilon_s \cos^2 \frac{\pi x}{2l} \quad (10)$$

На рис. 2 сплошными кружочками представлены экспериментальные величины относительных деформаций трубчатой арматуры пяти испытанных балок, в зоне самозаankerивания. Пунктирные кривые на этом рисунке вычислены по формулам (8) и (10) при $\alpha = 2$. Меж-

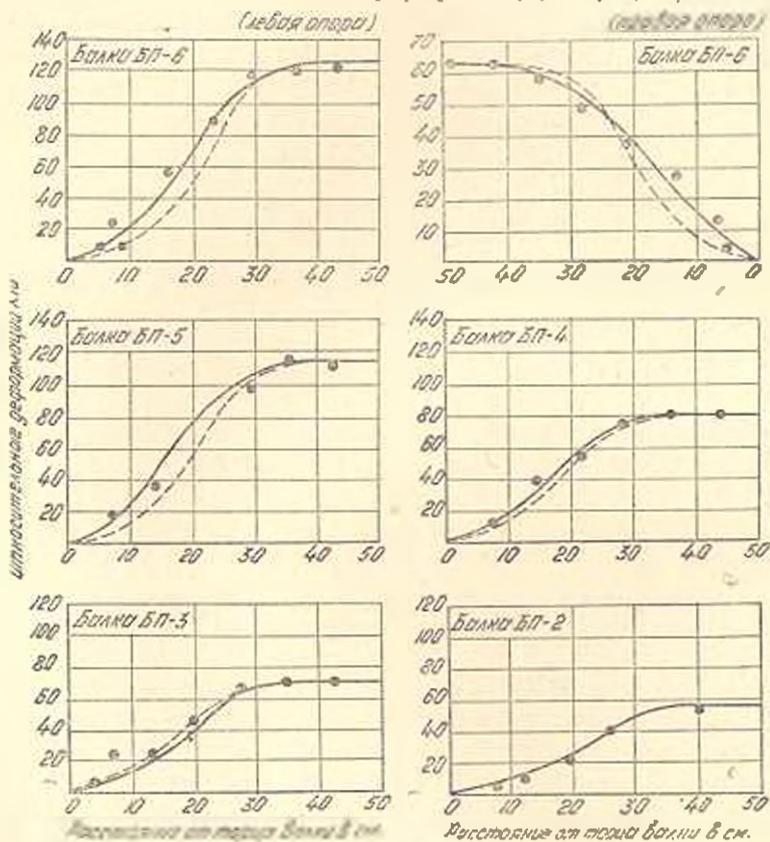


Рис. 2. Кривые относительных деформации арматуры в зоне анкеровки, у опор.

ду результатами экспериментальных и расчетных данных отмечается удовлетворительная согласованность.

Вычисленные по результатам экспериментальных данных максимальные величины напряжений сцепления арматуры с бетоном

$$\tau_s = \frac{F_s E_s d_s(x)}{S_s dx}$$

(S_s — параметр трубчатой арматуры) оказались равными, для балок ВП3, ВП4, ВП5 и ВП6 — $16 \times 18 \text{ кг/см}^2$, а для балки ВП2 — 8 кг/см^2 .

Произведенные опыты позволили установить длину зоны анкеровки арматуры силикато-бетонных балок и выявили возможность из-

мерения деформаций арматуры в железобетонных балках без искажения действительных условий сцепления арматуры и бетона.

ВНИИСМ

Поступило 16.III 1964

Վ. Ն. ԴՈՐՍԱՉՈՎ, Կ. Զ. ՔԱՐԱՄՅՈՆ

ՆԱԽԱԳԻՍ ԼԱՐՎԱԾ ՍԻԼԻՍԱՐԵՏՈՆԻ ՀԵՓԱՆՆԵՐՈՒՄ ԱՄՐԱՆԻ
ԻՆՔՆԱՆԱՐՍԽԵՄԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ն Ը Մ

Հեղինակների կողմից կատարված փորձնական հետազոտությունների հիման վրա որոշված է սիլիկատաբետոնե հեծաններում խողովակածն հարթ ամրանի խտրական համար պահանջող զոնայի երկարությունը: Ինքնախտրիման զոնայում ամրանի չափված հարաբերական զեֆորմացիաները (նկ. 2) համեմատվել են (8) և (10) հաշվային բանաձևերի հետ: Փորձնական և հաշվային տվյալների միջև ստացված է բավարար համընկնում $Z=Z$ պարամետրի զեպքում:

Կատարված փորձերը ցույց են տվել, որ երկաթբետոնե հեծաններում հնարավոր է ամրանի զեֆորմացիաների չափումը կատարել առանց բնառնի և ամրանի հարակցման իրական պայմանների աղավաղման:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Горли Т. Исследование анкеровки арматуры в бетоне. Сборник трудов, НИИЖБ, вып. 5, М., 1959.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

М. З. СИМОНОВ

НОВЫЙ ПРИБОР И МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ СВОЙСТВ БЕТОННОЙ СМЕСИ

Назначение состава бетона (или водоцементного отношения) только по таблицам и графикам или расчетно-теоретическим путем, без опытной проверки запрещено Строительными нормами и правилами (СНиП 1-В-3-62). Хотя испытание образцов из пробных замесов и является обязательным для назначения рабочего состава бетона, но эта задача в значительной мере решается уже в стадии изготовления пробных замесов, на основе результатов испытаний бетонной смеси. Именно на основе результатов этих испытаний устанавливаются: характеристики удобоукладываемости и уплотняемости бетонной смеси и возможности их улучшения; фактический состав бетонной смеси; плотность бетонной смеси, а также ожидаемая плотность, прочность и другие важные свойства бетона по его затвердеванию. Поэтому улучшение существующих и разработка новых методов испытаний бетонной смеси следует отнести к числу важных задач бетоноведения.

Действующими стандартами регламентированы определения подвижности и удобоукладываемости, объемного веса и водоотделения бетонной смеси, а также, в рекомендательном порядке — определение объема вовлеченного в бетонную смесь воздуха (ГОСТ 4799-57 и ГОСТ 10181-62).

Приведенные в этих стандартах методы определения нельзя считать вполне удовлетворительными, так как они позволяют изучить только часть необходимых свойств бетонной смеси и при том только в условиях атмосферного давления. Выполненные нами ранее исследования, посвященные уплотняемости бетонной смеси и влиянию газовой фазы на свойства бетонной смеси и бетона показали, что свойства эти существенно зависят от того, при атмосферном давлении или в условиях вакуума производятся опыты. Было установлено, что в зависимости от способа обезвоздушивания можно добиться улучшения уплотняемости и наоборот, вспучиваемости бетонной смеси [1—3]. Проведение такого рода исследований потребовало разработки нового прибора и методов испытаний бетонной смеси на его основе. В конструировании и в совершенствовании прибора одновременно принимали участие Г. Г. Енгибарян, Р. Р. Саркисян и А. М. Асирян.

1. Описание и назначение прибора

Прибор для испытаний бетонной смеси (рис. 1) представляет собой сосуд 1 емкостью 10 л с плоским дном, в котором имеется пробка 2. Надобность в откидывании пробки возникает при затруднениях с удалением из цилиндра уплотненной жесткой бетонной смеси. Диаметр цилиндра принят 186 мм и объем уплотненной смеси—5 л, как это предусмотрено по ГОСТ 4799—57 при определении объемного веса бетонной смеси.

Цилиндрический сосуд закрывается крышкой 3 при помощи трех

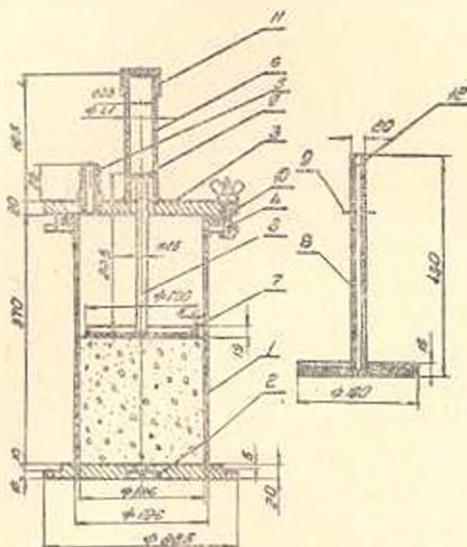


Рис. 1. Прибор для испытания бетонной смеси. 1—цилиндр, 2—пробка, 3—крышка, 4—откидной болт с барашкой, 5—штуцер, 6—трубка градуированная, 7—основной поплавок, 8—стержень (направляющий поплавка), 9—указатель, 10—прокладка, 11—колпак с прокладкой, 12—дополнительный поплавок для испытания бетонных смесей обрабатываемых методом вакуумирования.

откидных болтов с барашками 4. Крышка снабжена штуцером 5 для надевания шланга от лабораторного вакуумасоса и градуированной трубкой 6, с плотно закрывающимися съемным колпаком 11. До закрывания крышкой, в цилиндр вставляется поплавок 7 таким образом, чтобы он свободно опирался на поверхности уложенной в цилиндр бетонной смеси, а стержень 8 поплавка, снабженный указателем 9 проходил в градуированную трубку 6. На рис. 1 показан также дополнительный поплавок, используемый взамен описанного в случаях испытаний бетонной смеси подвергаемой обычному вакуумированию. Этот поплавок отличается от поплавка 7 наличием вакуумполости с нижней стороны и трубчатым сечением стержня 8. Вакуумполость образуется из двух металлических сеток с ячейками 1,2 и 4 мм перекрытых фильтровальной тканью из бязи. При использовании этого поплавка, снимается колпак 11 и на конец стержня 8 надевается

шланг, соединяющий поплавков с лабораторным вакуумнасосом (РВН—20) через ресивер. Трубка *б* градуируется из такого расчета, чтобы указатель *9* показывал на шкале объем бетонной смеси в $см^3$ под его нижней поверхностью. Цена деления по шкале—1 мм. При диаметре цилиндра 186 мм движение поплавка по вертикали на 1 мм соответствует изменению объема бетонной смеси на $27,2 см^3$. Поскольку объем бетонной смеси под поплавком составляет не менее $5000 см^3$, то ошибка в показании на 1 мм составит не более 0,5%, что следует считать приемлемым.

Для производства наблюдений за движением указателя *9* в трубке *б* и за поведением бетонной смеси под поплавком, совершенно необходимо, чтобы материал трубки *б* и цилиндра *1* был прозрачен. Помимо этого, необходимо, чтобы поплавок не тонул не только в бетонной смеси, но и в воде, поскольку при сильно разжиженных бетонных смесях может иметь место водоотделение. По всем этим соображениям, прибор в целом, за исключением болтов, изготавливается из прозрачного органического стекла, имеющего низкий объемный вес ($1,2 т/м^3$). Поплавок, при размерах, показанных на рис. 1, весит около 140 г и погружается в воду под действием собственного веса на 5,5 мм, вытесняя воду в объеме $9,4 см^3$. Это составляет 0,2% от *б*, чем несомненно можно пренебречь.

Прибор позволяет при атмосферном давлении или в разреженном пространстве определять следующие свойства бетонной смеси:

удобообрабатываемость; уплотняемость в обычных и в обезвоздушных условиях; уплотняемость при вакуумной обработке; вспучиваемость в обезвоздушной среде; объемный вес в рыхлом и уплотненном состояниях; фактический состав; объем вовлеченного воздуха; структурную и межзерновую плотность; водопоглощение пористых заполнителей в бетонной смеси и истинное значение цементно-водного отношения; водоотделение на поверхности; нерасслаиваемость.

2. Определение удобообрабатываемости бетонной смеси, начала оседания цементного теста, водоотделения и сепарации твердых компонентов

Согласно ГОСТ 6901—54, подвижность бетонной смеси как известно, определяется с помощью полного усеченного конуса и жесткости—с помощью технического вискозиметра. В обоих случаях бетонная смесь укладывается и уплотняется штыкованием в полный усеченный конус, который в первом случае устанавливают на горизонтальный металлический лист и во втором—вставляют в технический вискозиметр (или в металлическую форму размерами $20 \times 20 \times 20 см$) установленный на виброплощадку.

После того как бетонная смесь уложена и уплотнена в конус, и избыток смеси срезан металлической линейкой, конус снимают и измеряют осадку отформованной бетонной смеси. Величина осадки конуса (в см) является характеристикой подвижности бетонной смеси.

Для определения жесткости бетонной смеси, после снятия конуса, на технический вискозиметр устанавливают штатив с диском, полностью освобождают винт и опускают диск до поверхности бетонной смеси. Далее, одновременно включают вибратор и секундомер и наблюдают за опусканием штанги. В момент совпадения риски штанги с верхней плоскостью головки штатива, выключают секундомер и вибратор. Время (в *сек*), прошедшее с момента включения вибратора до момента его выключения, является показателем жесткости бетонной смеси.

Таким образом, согласно действующим стандартам, одно и то же свойство бетонной смеси—удобообрабатываемость ее оценивается различными методами и выражается для подвижных бетонных смесей в *см* и для жестких—в *сек*. Помимо этого, в обоих случаях определяются свойства уплотненного конуса из бетонной смеси освобожденного от формы, что трудно уподобить с каким-либо случаем формования изделий на практике.

Поэтому описанные методы характеризуют удобообрабатываемость бетонной смеси лишь косвенно; такая важная производственная характеристика бетонной смеси, как продолжительность формования изделий из нее, условно принимается равной показателю жесткости ее в *сек* по техническому вискозиметру, увеличенному на 60 *сек* (при толщине изделия не более 20 *см*).

Удобообрабатываемость бетонной смеси при помощи описанного прибора определяется по двум признакам: по продолжительности вибрирования в *сек*, необходимой для превращения бетонной смеси из рыхлого состояния в уплотненное и по продолжительности вибрирования в *сек*, необходимой для „обводнения“ бетонной смеси на всю толщину уложенного слоя.

При определении удобообрабатываемости бетонной смеси по первому признаку цилиндрический сосуд 1 устанавливают без крышки на стандартную лабораторную виброплощадку и закрепляют на ней. Затем в сосуд засыпают навеску бетонной смеси соответствующую примерно объему ее 5 л в уплотненном состоянии, разравнивают ее поверхность и на нее ставят поплавок со стержнем 8 обращенным вверх. Взвешивание бетонной смеси производится с точностью до 0,1%. После этого, в углубление имеющееся в верхнем торце сосуда 1 вставляют резиновое кольцо—прокладку 10, закрепляют крышку 3 при помощи болтов на барашках, по указателю 9 на градуированной шкале трубки 6 отмечают объем рыхлой бетонной смеси V_p , включают вибратор и секундомер и наблюдают за опусканием поплавка. В момент прекращения движения указателя 9 вниз, выключаются вибратор и секундомер. По показанию указателя 9 на шкале трубки 6 определяют объем уплотненной смеси V_v и по секундомеру—продолжительность вибрирования (t) в *сек*.

Удобообрабатываемость бетонной смеси в данном случае, как для жидких, так и для жестких бетонных смесей, определяется оли-

наково и измеряется в *сек*, причем этот показатель выражает одновременно и продолжительность формования бетонных изделий из данной бетонной смеси. При формировании из данной бетонной смеси армированных изделий или бетонных изделий сложного профиля, продолжительность вибрирования должна быть увеличена на 50—100%, в зависимости от густоты армирования профиля изделия. При определении удобообработываемости бетонной смеси по второму признаку опыт начинается также как и в первом случае, но после включения вибратора и секундомера через прозрачную стенку цилиндрического сосуда / следят за скоростью „обводнения“ бетонной смеси, вызывающей опускание поплавка, происходит постепенное вытеснение из бетонной смеси воздуха, причем через стенку цилиндра можно видеть исчезновение воздушных кавер и пузырьков и замену их цементным тестом постепенно перемещающимся с нижней части вверх.

При производстве бетонных работ, как известно, вибрирование считается законченным с появлением на поверхности бетонной смеси цементного молока. Именно этот процесс и наблюдается через прозрачную стенку цилиндра прибора. Продолжительность вибрирования в *сек.* необходимая для достижения „обводненного“ слоя верхней поверхности бетонной смеси, принимается за второй показатель подвижности и удобоукладываемости бетонной смеси. Обычно прекращение опускания поплавка и завершение процесса обводнения бетонной смеси на всю толщину слоя, происходят при одинаковой продолжительности вибрирования, но в ряде случаев имеет место и расхождение в этих показателях.

Определение удобообработываемости бетонной смеси по двум признакам имеет важное значение при испытании бетонной смеси изготовленной на заполнителях малопесочных и беспесочных или на заполнителях с прерывистой гранулометрией. Наблюдение через прозрачную стенку цилиндрического сосуда позволяет отметить две стадии уплотнения. Первая стадия, названная „обводнением“, протекает также и в предыдущем случае, но процесс „обводнения“ идет снизу вверх не по всей площади, а „пятнами“, образуяющимися вокруг крупных зерен заполнителя. После завершения первой стадии, спустя некоторое время начинается вторая стадия; избыток цементного теста, отрываясь от крупных зерен заполнителя садится на дно, образуя постепенно увеличивающийся слой. Начало второй стадии означает начало расслоения бетонной смеси, что не может быть допущено. Поэтому, испытание бетонной смеси в цилиндре по второму признаку позволяет также определить максимально допустимую продолжительность вибрирования, при которой бетонная смесь не дает еще расслоения.

Определение удобообработываемости бетонной смеси имеет важное значение также для особо подвижных бетонных смесей. В рассматриваемом случае также отмечаются две стадии: первая стадия, протекающая в короткий срок, связана с уплотнением бетонной смеси

и характеризуется прекращением опускания поплавка; вторая стадия связана с образованием на поверхности бетонной смеси постепенно увеличивающегося слоя воды и с сепарированием твердых компонентов бетонной смеси по плотности, когда наиболее плотные компоненты опускаются вниз и наиболее легкие всплывают вверх. Начало второй стадии, означающее начало водоотделения и сепарации бетонной смеси, также не может быть допущено.

Определение удобообрабатываемости бетонной смеси по двум признакам может оказаться целесообразным также и при жестких бетонных смесях; процесс „обводнения“ для своего завершения может потребовать более продолжительного вибрирования, чем время, потребовавшееся для прекращения опускания поплавка.

Таким образом, определение удобообрабатываемости бетонной смеси при помощи предложенного прибора по двум признакам позволяет установить следующие ее характеристики:

а) минимально-необходимую продолжительность вибрирования, при которой завершается уплотнение бетонной смеси и ее „обводнение“; эта же характеристика, выраженная в *сек* и является характеристикой удобообрабатываемости бетонной смеси;

б) максимально допустимую продолжительность вибрирования бетонной смеси, при которой не имеет еще место оседание цементного теста, водоотделение или сепарация твердых компонентов.

3. Определение уплотняемости бетонной смеси в обычных и в обезвоздушенных условиях

Непосредственным мерилем уплотняемости бетонной смеси является изменение ее объема по сравнению с объемом в свободно-уложенном (рыхлом) состоянии. Уплотняемость бетонной смеси характеризуется отношением разности между объемом свободно-уложенной (рыхлой) бетонной смеси V_p и объемом ее в уплотненном виде V_y к исходному объему и выражается в процентах по формуле:

$$K_y = \frac{v_p - v_y}{v_p} \cdot 100. \quad (1)$$

При обычных условиях (при атмосферном давлении) объемы бетонной смеси в исходном и уплотненном состояниях определяются в цилиндре также, как и при определении подвижности и удобоукладываемости бетонной смеси, с той только разницей, что после включения вибратора и секундомера, положение поплавка по показателю ϑ фиксируется через каждые δ *сек*. На основании полученных данных строится кривая, характеризующая уплотняемость бетонной смеси (K_y) в функции от продолжительности вибрирования (t) в *сек*.

Для жестких бетонных смесей, уплотняемых под пригрузом, уплотняемость их определяется в цилиндре также под пригрузом, накладываемым на поплавок. Пригруз может быть установлен на попла-

вок как до начала, так и после частичного уплотнения бетонной смеси без пригруза, т. е. с открытой поверхностью. Определение уплотняемости бетонной смеси в цилиндре в обезвоздушенных условиях производится также как и в предыдущем случае со следующими изменениями: перед включением вибратора, на штуцер 5 крышки цилиндра, надевается шланг от вакуумнасоса и при показателе вакуумметра, установленного на ресивере не менее 600 мм ртутного столба открывается кран, начинается обезвоздушивание емкости над бетонной смесью в цилиндре и одновременно включается секундомер; после осуществления обезвоздушивания бетонной смеси в течение времени t_1 , не выключая вакуумнасоса, включается вибратор и производится уплотнение бетонной смеси в течение времени t_2 после чего цилиндр отключается от вакуумнасоса и сообщается атмосферным давлением, при котором продолжается уплотнение бетонной смеси в течение времени t_3 пока не прекратится оседание поплавок. В момент прекращения движения указателя 9 вниз, выключаются вибратор и секундомер. Определение объема бетонной смеси (v_2) производится при различных задаваемых значениях t_1 и t_2 .

4. Определение уплотняемости бетонной смеси при вакуумной обработке

Определение объемов бетонной смеси в свободно-уложенном (v_1) и уплотненном путем вибрирования (v_2) состояниях производится также, как и при определении удобообрабатываемости бетонной смеси, со следующими изменениями: используется дополнительный поплавок, снабженный вакуумполостью, для чего колпак 11 с трубки 6 снимается и на верхний конец трубчатого стержня поплавок надевается шланг от вакуумнасоса; после прекращения оседания поплавок и выключения вибратора и секундомера при показателе вакуумметра, установленного на ресивере не менее 600 мм ртутного столба, открывается кран и начинается вакуумирование бетонной смеси и одновременно включается секундомер; в зависимости от поставленной задачи может быть включен также вибратор сразу же или в заданные промежутки времени; в процессе вакуумирования бетонной смеси, через прозрачную стенку цилиндра следят за движением воздушных пузырьков в бетонной смеси снизу вверх и за постепенным перемещением зоны действия вакуумирования вниз; после прекращения движения воздушных пузырьков в бетонной смеси, наблюдаемого через стенку цилиндра, отключается вакуумнасос, и одновременно выключается секундомер, а при вибрировании — и вибратор. Определение объема бетонной смеси после ее вакуумной обработки v_2 производится при различных задаваемых режимах (отсутствие или наличие одновременного вибрирования) и продолжительности вакуумирования. Количество воды отсасываемой из бетонной смеси B_0 определяется по разности веса бетонной смеси до h и после ее вакуумной обработки h_1 .

$$B_2 = g - g_1 \quad (2)$$

5. Определение вспучиваемости бетонной смеси в обезвоздушенной среде

Определение объемов смеси в свободно-уложенном (v_p) и уплотненном путем вибрирования (v_y) состояниях производится также, как и при определении удобообрабатываемости бетонной смеси. После выключения вибратора и секундомера, на штуцер 5 крышки цилиндра надевается шланг от вакуумкасоса и при показателе вакуумметра, установленного на ресивере не менее 610 мм ртутного столба, открывается кран, начинается обезвоздушивание емкости над бетонной смесью в цилиндре и одновременно включается секундомер; через каждые 5 секунд фиксируется положение поплавка по показателю 9. На основании полученных данных строится кривая, характеризующая изменение объема вспучиваемой бетонной смеси ($v_{в.п.}$) в функции от времени выраженной в сек.

Вспучиваемость бетонной смеси может быть изучена как при выключенном так и при включенном вибраторе. Вспучиваемость бетонной смеси может быть изучена также после ее уплотнения иными способами или до уплотнения.

Вспучиваемость бетонной смеси $K_{всп}$ характеризуется отношением объема вспученной бетонной смеси к объему ее в исходном состоянии $v_{исх}$.

$$K_{всп} = \frac{v_{всп}}{v_{исх}} \quad (3)$$

В исходном состоянии, т. е. до начала вспучивания бетонная смесь может быть уплотнена вибрированием без пригруза или с пригрузом, вибровакуумированием или иным способом, а может быть уложена в цилиндр прибора и без уплотнения.

6. Определение объемного веса и объема бетонной смеси в рыхлом и уплотненном состоянии

Объемные веса бетонной смеси в рыхлом, уплотненном тем или иным способом или во вспученном состояниях определяются на основании экспериментальных данных, полученных в предыдущих определениях, по формулам:

$$\gamma_p = \frac{g}{v_p} \quad (4)$$

$$\gamma_y = \frac{g}{v_y} \quad (5)$$

$$\gamma_{в} = \frac{g - g_1}{v_{в}} \quad (6)$$

$$\gamma_{всп} = \frac{g}{v_{всп}} \quad (7)$$

где g — вес бетонной смеси; g_1 — вес бетонной смеси за вычетом веса отсосанной воды;

Объем бетонной смеси из одного замеса $v_{зам}$ в рыхлом, уплотненном или во вспученном состояниях равен сумме всех материалов в кг израсходованных на один замес (ΣP) деленной на объемный вес бетонной смеси

$$v_{зам} = \frac{\Sigma P}{\gamma} \text{ м}^3. \quad (8)$$

Здесь γ — объемный вес бетонной смеси в рыхлом, уплотненном или во вспученном состояниях и принимаемый соответственно равным γ_p , γ_u , γ_a или $\gamma_{всп}$ в кг/м^3 .

7. Определение фактического состава бетонной смеси

В зависимости от условий, способа и интенсивности уплотнения бетонная смесь, изготовленная из материалов взятых в одной и той же пропорции будет иметь различные составы. Фактический состав при изготовлении пробного замеса устанавливается по объемному весу бетонной смеси по известным формулам:

$$\text{расход цемента} - Ц = \frac{Ц \cdot \gamma}{\Sigma P} \text{ кг}, \quad (9)$$

$$\text{расход щебня} - Щ = \frac{Щ \cdot \gamma}{\Sigma P} \text{ кг}, \quad (10)$$

$$\text{расход песка} - П = \frac{П \cdot \gamma}{\Sigma P} \text{ кг}, \quad (11)$$

$$\text{расход воды} - В = \frac{В \cdot \gamma}{\Sigma P} \text{ кг}. \quad (12)$$

ΣP — сумма всех материалов в кг израсходованных на один замес;

В случае бетонной смеси уплотненной с применением вакуумной обработки, объемный вес бетонной смеси принимается $\gamma = \gamma_v$, а при определении расхода воды значение „в“ принимается за вычетом количества ее отсосанной при вакуумировании.

8. Определение объема вовлеченного воздуха в бетонной смеси

Определение объема вовлеченного воздуха в бетонной смеси может быть произведено расчетным путем или по вспучиваемости бетонной смеси.

а) *расчетный метод.*

При применении расчетного метода объем вовлеченного воздуха в процентах к объему бетонной смеси вычисляют по формуле:

$$v_{\text{теор.}} = \frac{\gamma_1 - \gamma}{\gamma_1} \cdot 100\%, \quad (13)$$

где γ_1 — теоретический объемный вес бетонной смеси без воздуха;

Теоретический объемный вес бетонной смеси без воздуха вычисляют по формуле:

$$\gamma_1 = \frac{Ц + Ш + П + В}{\frac{Ц}{\gamma_{\text{ц}}} + \frac{Ш}{\gamma_{\text{ш}}} + \frac{П}{\gamma_{\text{п}}} + В} \quad (14)$$

где: Ц, Ш, П и В — веса в кг соответственно цемента, щебня, песка и воды, израсходованные на замес;

$\gamma_{\text{ц}}$, $\gamma_{\text{ш}}$ и $\gamma_{\text{п}}$ — удельные веса соответственно цемента, щебня и песка;

б) по вспучиваемости бетонной смеси

Для бетонных смесей обладающих в уплотненном виде воздухо-непроницаемостью, после окончания ее уплотнения в предлагаемом приборе и выключения вибратора и секундомера, на штуцер 5 крышки цилиндра надевается шланг от вакуумнасоса и при показателе вакуумметра, установленного на ресивере 200 мм ртутного столба, путем открывания крана начинается обезвоздушивание пространства цилиндра над поверхностью бетонной смеси и одновременно включается секундомер; вначале и через каждые 5 сек по показателю 9 фиксируются объемы бетонной смеси в цилиндре. По затухании вспучивания бетонной смеси, отключается вакуумнасос и секундомер, разрежение в ресивере доводится до 400 мм ртутного столба и продолжается обезвоздушивание пространства над бетонной смесью в цилиндре при новой интенсивности разрежения и производство замеров объема бетонной смеси до момента затухания вспучивания также, как и в предыдущем случае. Наконец, вспучиваемость бетонной смеси измеряется при разрежении воздуха 600 мм ртутного столба.

Описанным образом устанавливаются: объем бетонной смеси до вспучивания (v), объем бетонной смеси после вспучивания $v + \Delta v_1$, при разрежении воздуха ($p - \Delta p_1$), а также объемы бетонной смеси $v + \Delta v_2$ и $v + \Delta v_3$ при разрежении воздуха соответственно при $p - \Delta p_2$ и $p - \Delta p_3$.

Объем водтянутого воздуха вычисляется по формуле:

$$v_{\text{вак}} = \frac{\Delta v_i (p - \Delta p_i)}{\Delta p_i} \quad (i = 1, 2, 3). \quad (15)$$

Если бетонная смесь обладает воздухопроницаемостью при всех трех принятых в опытах интенсивностях разрежения, то объем водтянутого воздуха при всех этих определениях должен получиться одинаковым.

Если объемы водтянутого воздуха определенные при разрежении $\Delta p_1 = 200$ мм и $\Delta p_2 = 400$ мм ртутного столба равны друг другу, и определенный при $\Delta p_3 = 600$ мм окажется меньше, чем при Δp_1 и Δp_2 .

то за достоверную величину принимается объем вычисленный при первых двух интенсивностях разрежения.

Если, наконец, объемы вовлеченного воздуха, вычисленные при указанных трех разрежениях оказались неодинаковыми во всех трех случаях и их значения убывают с возрастанием интенсивности разрежения, то это означает, что изучаемая бетонная смесь не обладает необходимой воздухопроницаемостью и что объем вовлеченного воздуха для этой смеси следует определять только описанным выше расчетным методом.

9. Определение структурной и межзерновой плотности бетонной смеси

Структурная плотность бетонной смеси характеризуется отношением абсолютных объемов всех ее компонентов к внешнему объему и определяется по формуле:

$$\delta_s = \frac{\frac{Ц}{\gamma_{ц}} + \frac{П}{\gamma_{п}} + \frac{Ш}{\gamma_{ш}} + В}{100} \quad (16)$$

Если определен объем вовлеченного воздуха в бетонной смеси ($v_{воп}$ в %), то структурная плотность бетонной смеси может быть вычислена из выражения:

$$\delta_s = 1 - \frac{v_{воп}}{100} \quad (17)$$

Здесь $v_{воп}$ — определяется из выражения (13) или (15).

При заполнителях с плотным строением, приведенные выражения позволяют оценивать также межзерновую плотность бетонной смеси. Плотность цементного теста в межзерновых пространствах заполнителей вычисляется по формуле:

$$\delta_{ц.т.} = \frac{Ц/\gamma_{ц}}{1000 - \left(\frac{П}{\gamma_{п}} + \frac{Ш}{\gamma_{ш}} \right)} \quad (18)$$

Следует отметить, что для бетонных смесей на пористых заполнителях, объем вовлеченного воздуха, определенный методом описанным выше, будет суммарным, т. е. будет включать в себе как объем воздуха заключенный внутри самих зерен заполнителей, так и в пространствах между зернами заполнителей, т. е. в цементном тесте. Поэтому в бетонных смесях на пористых заполнителях для определения межзерновой плотности $\delta_{ц.т.}$ необходимо знать не только удельные веса пористых заполнителей, но и объемные веса и куске для зерен разной крупности γ_z и средние значения объемного веса в куске для зерен данной фракции или для песка и щебня. Определения этих значений можно сделать как расчетным, так и экспериментальным путем.

а) *Расчетный метод.*

Объемные веса в куске для заполнителей пористого строения тем выше, чем мельче зерна этих заполнителей. При диаметре зерен 50 мм и выше, объемный вес их приравняем объемному весу породы, а при диаметре зерен 0,15 мм и ниже, объемный вес их приравняем удельному весу породы.

Для зерен заполнителей промежуточных размеров предлагается определять объемные веса по следующей формуле:

$$\gamma_3 = \gamma_y - (\gamma_y - \gamma_0) \left(\frac{d - 0,15}{49,9} \right)^{0,05}, \quad (19)$$

где γ_y и γ_0 — удельный и объемный веса породы, определяемые по стандартам; d — диаметр зерен заполнителя пористого строения в пределах от 0,15 до 50 мм.

Средний объемный вес зерен смеси (фракций) пористых заполнителей определяется по формуле:

$$\gamma_3 = \frac{100}{\frac{a_1}{\gamma_{31}} + \frac{a_2}{\gamma_{32}} + \dots + \frac{a_n}{\gamma_{3n}}}, \quad (20)$$

где a_1, a_2, \dots, a_n — процентные содержания пористого заполнителя данной фракции в смеси (в песке, щебне или балласте) по весу;

$\gamma_{31}, \gamma_{32}, \dots, \gamma_{3n}$ — объемные веса зерен заполнителей.

Коэффициент пустот заполнителя находится по формуле:

$$\alpha = 1 - \frac{\gamma_3}{\gamma_{3, \text{ср.}}}, \quad (21)$$

где $\gamma_{3, \text{ср.}}$ — объемный насыпной вес заполнителя;

$\gamma_{3, \text{ср.}}$ — средний объемный вес зерен заполнителя.

б) *Экспериментальный метод.*

Коэффициент пустот для щебня (гравия) $\alpha_{ш}$ из пористого заполнителя с достаточной точностью можно определить по ГОСТ 758-61. Поэтому объемный вес в куске щебня (гравия) из пористого заполнителя определяется по формуле:

$$\gamma_3 = \frac{\gamma_0}{1 - \alpha_{ш}}. \quad (22)$$

Для песков из пористого заполнителя нет стандартного метода для определения коэффициента их пустот. Определение указанной характеристики для песка из пористого заполнителя предлагается следующим способом.

Песок в высушенном состоянии смешивается с цементом в объемной пропорции 1:2, пересчитанной на весовую пропорцию в соответствии с их объемными насыпными весами; в смесь вводится вода в количестве обеспечивающем получение подвижного раствора с осадкой 6—8 см по конусу „СтройЦНИИ“, после чего сразу же опреде-

ляют объемный вес свежизготовленной смеси.

Коэффициент пустот песка из пористого заполнителя (α_n) определяется по формуле:

$$\alpha_n = \frac{\frac{\Pi}{\gamma_0} + \frac{\Pi}{\gamma_n} + V_{св} - \frac{\Sigma P}{\gamma_{см}}}{\frac{\Pi}{\gamma_0}}, \quad (23)$$

где

$$V_{св} = V - V_n; \quad (24)$$

$V_{св}$ и V_n — количество свободной воды, т. е. воды оставшейся в цементном тесте и количество воды, поглощенной заполнителем;

$\gamma_{см}$ — объемный вес свежизготовленной и уплотненной растворной смеси;

γ_0 и γ_n — объемные насыпные веса песка и цемента

Чтобы определить V_n изготавливается раствор того же состава и с той же подвижностью, что и в предыдущем случае, но с заменой пористого заполнителя кварцевым песком с зерновым составом (по объему) аналогичным с пористым и определяется расход воды на замес (V_1). Поскольку в этом случае расход воды поглощаемой заполнителем будет пренебрежительно мал, то можно считать, что $V_{св} = V_1$

На основании выражения (23), вычисляется α_n , а по формуле (22) γ_3 при $\alpha_n = \alpha_{ш}$.

Межзерновая плотность бетонной смеси на пористых заполнителях определяется по формуле (18), при условии замены удельных весов песка и щебня γ_0 и $\gamma_{ш}$ значениями среднего объемного веса зерен песка и щебня.

10. Водопоглощение пористых заполнителей в бетонной смеси и истинное значение цементноводного отношения

Для бетонных смесей на пористых заполнителях, при условной структурной плотности их не менее единицы, количество воды поглощенной заполнителем в бетонной смеси определяется по формуле:

$$V_n = \frac{\Pi}{\gamma_n} + \frac{\Pi}{\gamma_{ш}} + \frac{\Pi}{\gamma_ц} + V - \frac{\Sigma P}{\gamma_{см}}. \quad (25)$$

Истинное значение цементно-водного отношения в легкобетонной смеси определяется по формуле:

$$K = \frac{\Pi}{V - V_n}. \quad (26)$$

11. Определение водоотделения на поверхности бетонной смеси

После определения удобообрабатываемости бетонной смеси и включения вибратора и секундомера, засекают время и через прозрач-

ную стенку цилиндра наблюдают за образованием слоя воды под поплавком; измерение толщины слоя воды h производит через каждые 10 минут, после того как увеличение толщины слоя воды прекратится, измеряют окончательно эту толщину и фиксируют время (t), в течение которого протекал этот процесс.

Измерение толщины водяного слоя каждый раз производится в третях круга, принимая за толщину этого слоя среднее арифметическое из трех указанных измерений. Относительное водоотделение определяется по формуле:

$$V_{\text{отд.}} = \frac{h}{H}, \quad (27)$$

где h — толщина отделившегося с поверхности бетонного слоя воды в мм;

H — высота цилиндра прибора в мм от дна до нижней поверхности поплавка.

12. Определение нерасслаиваемости бетонной смеси с проверкой изменения фактического ее состава

Определяется удобообрабатываемость бетонной смеси, а также объемный вес и фактический ее состав. После определения удобообрабатываемости бетонной смеси продолжается ее вибрирование до тех пор, пока через стенку цилиндра не будут наблюдаться признаки расслоения бетонной смеси (начало движения вниз частиц заполнителя или цементного теста). Как только будут замечены указанные признаки, вибратор и секундомер выключаются, фиксируется продолжительность вибрирования бетонной смеси, открывается крышка цилиндра \mathcal{A} , из дна цилиндра отвинчивается винт 2, цилиндр переворачивается дном кверху и из него выталкивается бетонная смесь. При этом допускается применение кратковременного вибрирования. Из нижней и верхней частей бетонного цилиндра отбираются образцы бетонной смеси весом по 1 кг и путем промывания водой последовательно пропускаются через сита с отверстиями 5 и 1,2 мм; остатки на ситах, обозначаемые соответственно через Π_1 и Π_2 , после высушивания взвешиваются в г. Зная веса остатков Π_1 и Π_2 от образца № 1, взятого с нижней части и веса остатков Π_3 и Π_4 от образца № 2, взятого с верхней части бетонного цилиндра и сравнивая их значения со значениями Π и Π в кг бетонной смеси по фактическому составу ее определенной в цилиндре в начале опытов, легко установить имеет ли место расслоение бетонной смеси и в какой степени.

Մ. Զ. ՍԻՄՈՆՈՎ

ԲԵՏՈՆԻ ԽԱՌՆՈՒՐԳԻ ԶԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՄԱՆ
ՆՈՐ ԱՍՐԳ ԵՎ ՆՈՐ ՄԵԹՈԳՆԵՐ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Վ

Առաջարկվում է նոր սարք (դրան), որը թույլ է տալիս ոչ միայն դո-
լուիվուն ունեցող սարքերի հետ համեմատած ավելի ճիշտ գնահատելու բե-
տոնե խտանուրդի շարժունությունն ու կոշտությունը, այլև ստանալու այդ
խտանուրդից ձևավորվող շինվածքների համար անհրաժեշտ տեղություն ընու-
թացիրը:

Սարքը, որը հնարավորություն ունի որոշելու բետոնե խտանուրդի ավել-
ի քան տասը սարքեր բնութագրել, կտրելի է ունիվերսալ անվանել: Սարքի
կարևորագույն արժանիքը կալանում է նրանում, որ նա հնարավորություն
է ստեղծում բետոնե խտանուրդի հատկությունների ուսումնասիրությունը
կատարել ինչպես միջնորոտային ճեղման, այնպես և փակումի պարմանում:

Հողվածում սարքի նկարագրության հետ մեկտեղ տրվում է նաև բետո-
նե խտանուրդի սարքեր բնութագրելի որոշման մեթոդները և դրանց համա-
պատասխան հեղինակի կողմից մշակված հաշվային բանաձևերը:

Սարքի, ինչպես և բետոնե խտանուրդի փորձարման հիշված մեթոդներին
կիրառումը պրակտիկայում կոմանդակի բետոնողիտություն զարգացմանը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Элементы теории подпжности и уплотняемости бетонной смеси. Известия АН Армянской ССР, т. 3, 1953;
2. О газовой фазе в бетонной смеси и бетоне. Труды совещания по теории технологии бетона. Изд. АН Армянской ССР, Ереван, 1956.
3. Факторы плотности бетонов на литондной пемзе и других пористых заполнителях. Сборник „Гидротехнический бетон на литондной пемзе“. Изд. АН Армянской ССР. Ереван, 1958.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

А. А. АРАКЕЛЯН

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА

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

$$R_c = \frac{A \frac{\delta_0}{F_0} R_x}{B + \delta_1 \frac{F_2}{F_1} \frac{R_x}{R_1}} \text{ кг/см}^2, \quad (1)$$

где δ_0 и δ_1 — плотности бетона и заполнителя;

R_x и R_1 — кубиковая ($20 \times 20 \times 20$ см) прочность цементного камня и заполнителя в бетоне в кг/см^2 ;

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

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

Прочность цементного камня определяется формулой [1]:

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

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

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

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

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

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

Таблица 1

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

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

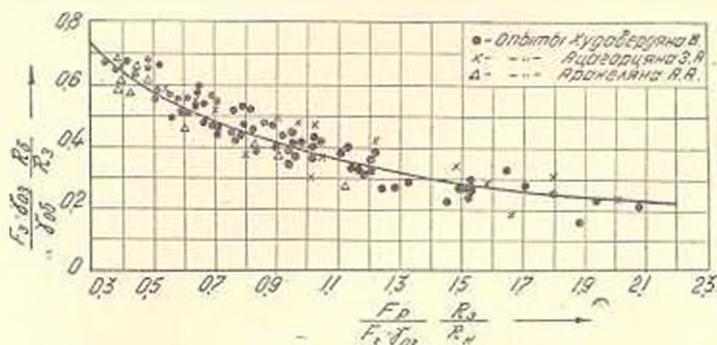


Рис. 1. Зависимость прочности туфобетона (R_b) от прочности цементного камня (R_k) и других параметров бетона.

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

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

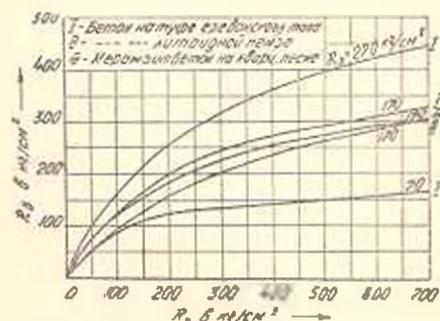


Рис. 2. Зависимость прочности легкого бетона (R_b) от прочности цементного камня (R_k).

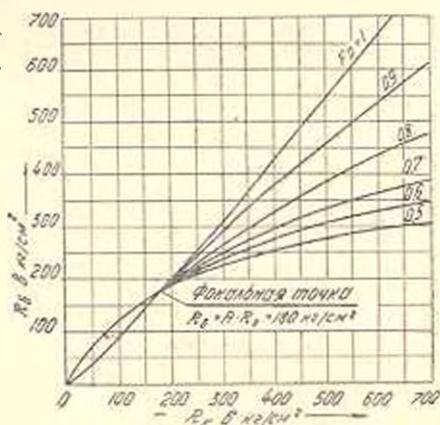


Рис. 3. Зависимость прочности бетона на литонидной пемзе (R_b) от прочности цементного камня (R_k) и количества раствора (F_p).

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

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

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

$$\left. \begin{aligned} F_p + F_s &= 1 \\ F_p \delta_p + F_s \delta_s &= \delta_0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

представим формулу (1) в следующем виде:

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

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

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

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

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

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

то с учетом (3) получим:

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

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

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

$$\frac{R_x}{R_s} < \frac{B}{\delta_p} \quad \text{или} \quad R_x < \frac{B}{A \delta_p} \quad (7)$$

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

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

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

Первая фаза соответствует эффективному использованию прочности цементного камня в бетоне; вторая фаза—соответствует случаю когда эффективность использования цементного камня в бетоне заметно снижается. Сама фокальная точка соответствует случаю, когда

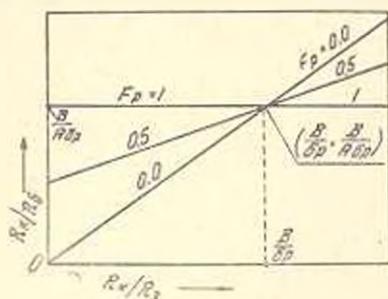


Рис. 4. Зависимость $\frac{R_k}{R_b}$ от $\frac{R_k}{R_l}$ по формуле (6) для бетонов.

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

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

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

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

$$R_b = A_2 \frac{R_l}{F_p} R_{\text{ка}} \quad (8)$$

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

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

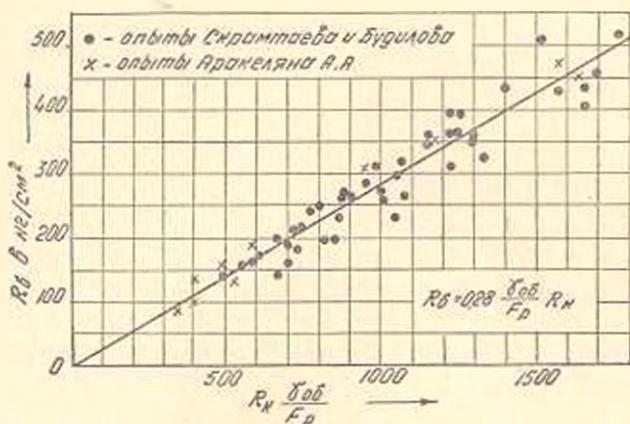


Рис. 5. Зависимость прочности обычного бетона на гранитном щебне (R_b) от величины $\frac{\delta_{об}}{F_p} R_k$ по формуле (8).

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

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

Армянский НИИ строительных материалов и сооружений

Поступило 15.VI 1963

Հ. Ա. ԱՌԱՔԵԼՅԱՆ

ՐԵՏՈՆԻ ԱՐԳՈՒԹՅՈՒՆԸ ՈՐՈՇԵԼՈՒ ՀԱՐՑԻ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ

Ա մ փ ո փ ու մ

Հարգածում քերթած են ՀՍՍՌ քաղաքների շինանյութների և կառուցվածքների բնաստատուում կատարված է քաղաքականապես աշխատանքների արդյունքները՝ բնտոնի ամբույթները հաշվելու համար բանաձև ստանալու ուղղությամբ: Բնտոնի ամբույթը բանաձև (1) դուրս է բերված կապիլյար ծակտունի նյութների համար ստացված ընդհանուր բանաձևից [1]: Բանաձև (1)-ը նախարկված է անալիզի, որի արդյունքները արտահայտվում են զրաֆիկների միջոցով (տես նկ. 1, 2, 3, 4):

Բանաձևեր (1) անալիզը ցույց է տալիս, որ բետոնի կազմը, եթե դուրս-
թյուն ունի պայման 3 կամ 7-ը, կարելի է ստանալ համեմատաբար քիչ ցե-
մենտի ծախսով:

3 և 4 նկարներից պարզ երևում է, որ թեթև բետոնների համար դուրս-
թյուն ունի անդամն կետ՝ մինչև անցման կետը բետոնի ամրությունը մեծա-
նում է շաղախի քանակի քառակուսու, իսկ անցման կետից հետո ստացվում
է հակառակը: Անցման կետը կախված է թեթև բետոնի տեսակից և արտա-
հայտվում է (5) պայմանով: Ընդհանուր (1) բանաձևից ստացվում է (8) բա-
նաձևը սովորական խիտ լցանյութերի դրա (բաղալու, զրանիտ և այլն) պատ-
րաստված բետոնի ամրությունը հաշվելու համար:

Ստացված (8) բանաձևում ավելակարևորն այն է, որ ամրությունը որոշե-
լու համար հարկի է տեսվում բետոնի մեջ եղած շաղախի քանակը:

Փորձերը ցույց են տալիս, որ բետոնի ամրությունը հաշվելու համար (1)
և (8)-ի բանաձևերի նշտությունը միանգամա՛հ բավարար է: Փորձնական և
բանաձևերի միջոցով հաշված տվյալների միջին-քառակուսային տարբերու-
թյունները ստացվում են 8—12%:

Л И Т Е Р А Т У Р А

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

Թ Ո Վ Ա Ն Գ Ա Կ Ո Ի Թ Յ Ո Ի Ն

Հիդրավիկա

Գ. Ա. Մահարյան. Հունի հիդրավիկական ցուցիչի սրուձման մասին 3

Հիդրուլոգիա

Ի. Վ. Աղիազարով. Զրարերու կենրի լայն խառնուրդի և հունի ինքնասայարկման աղգեցությունը ցրարերու կենրի շարժման ու ծախսի վրա (հաղորդում 2) . . . 11

Ջերմասեխնիկա

Ի. Գ. Քառանյան. Կողերով ալյումինե խողովակներից բաղկացած փնձի ջերմատվում-թյան և աէրոզինամիկական դիմադրության ուսումնասիրությունը 28

Շինարարական կոնստրուկցիաներ

Ի. Լ. Ալևուխյան. Նախնական լարումների կորուստները շողևաարցումից՝ ստեն-դային եղանակով պարաստվող կոնստրուկցիաներում 28

Վ. Ն. Գուսակով, Վ. Հ. Փարսյան. Նախադիւ լարված սիլիկատարևտոնի հեծաննե-րում ամբանի ինքնախարսխման հետազոտությունը 31

Շինանյութեր

Ա. Զ. Ալմոնով. Ինտոնե խառնուրդի հատկությունների ուսումնասիրման նոր սարք և նոր մեթոդներ 37

Հ. Ա. Առաքելյան. Բետոնի ամբությունը սրուձելու հարցի վերաբերյալ 53

С О Д Е Р Ж А Н И Е

Гидравлика

Стр.

Г. А. Макарян. К определению гидравлического показателя русла 3

Гидрология

И. В. Егиазаров. Влияние широкой смеси наносов и смолотности русла на движение и раскол наносов (сообщение 2) 11

Теплотехника

И. Г. Таранян. Исследование теплоотдачи и аэродинамического сопротивления пучка оребренных алюминиевых цельнокатаных трубок 19

Строительные конструкции

Р. С. Аветисян. О потерях предварительного напряжения при прогреве железобетонных конструкций на стендах 25

В. Н. Гусаков, К. О. Карамян. Исследование самозалкеривания арматуры в предварительно напряженных силикато-бетонных балках 31

Строительные материалы

М. З. Симонов. Новый прибор и метод для изучения свойств 37
А. А. Аракелян. К вопросу определения прочности бетона 53

