

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՌԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ
ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ
АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ԽՄԲԴՐԱԿԱՆ ԿՈՒՆԴԻԱ

Ազեկ Շ. Տ., Ալեքսեևսկի Վ. Վ., Գառապրյան Ա. Ա., Եղիազարյան Ի. Վ., Կասյան Մ. Վ., Կալարով Ա. Գ. (պատ. խմբագիր), Սիմոնով Մ. Զ., Տեր-Ստեփանյան Դ. Ի., Փինաջյան Վ. Վ. (պատ. խմբագիր տեղակալ):

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Авонц Г. Т., Алексеевский В. В., Гагпоян А. М., Егиазаров И. В., Касьян М. В., Назаров А. Г. (ответ. редактор), Пинюхян В. В. (зам. отв. редактора), Симонов М. З., Тер-Степанян Г. И.

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА

Б. Л. БУНИАТЯН

НЕУСТАНОВИВШИЙСЯ РЕЖИМ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ
В РЕАКТИВНЫХ ГИДРОТУРБИНАХ

Сообщение 1

При переходных процессах в гидроагрегатах в гидравлической ее части наибольшее влияние на процесс регулирования агрегата оказывает неустановившееся движение воды в системе напорный трубопровод—турбина—отсасывающая труба [1].

В работах [2, 3] показано, что при закрытии турбины в ее отсасывающей трубе, а при остановке центробежного насоса в магнетельном трубопроводе вода, совершая неустановившееся движение, одновременно упруго колеблется, что характеризуется безразмерными величинами [4]:

$$\varphi = \frac{aV_0}{2gH_0} ; \psi = \frac{T_s}{\mu} ,$$

где a — скорость распространения волны давления гидравлического удара; H_0 и V_0 — напор и скорость течения потока в момент возникновения неустановившегося режима; T_s — время движения регулирующего органа; μ — фаза колебания. Значения этих величин для отсасывающей трубы могут быть такими, что полученные относительные изменения напора могут заметно влиять на процесс регулирования агрегата. Так например, при сбросе нагрузки в случае неправильного сочетания гидравлических и механических параметров турбины и регулятора в отсасывающей трубе гидротурбины возникает резкое повышение давления, которое может причинить большой ущерб станции [5]. Поэтому требуются достоверные методы по определению изменения во времени давления подрабочим колесом в зависимости от параметров регулирования агрегата.

В работе Н. А. Картвелишвили [6] рассмотрено современное состояние вопроса в СССР. Он отмечает, что задача о гидравлическом ударе в отсасывающих трубах гидротурбины до сих пор остается нерешенной. Основным препятствием для решения рассматриваемой задачи является наличие в трубе вихревого шнура, заполненного пузырьками воздуха и парами воды, а также винтовое движение потока.

В статье автора приводится приближенная теория учета влияния вихревого шнура на процесс протекания неустойчивого режима. Полагая, что основное течение, направленное вдоль трубы, практически происходит по схеме одновременного течения, предлагается способ оценки изменения во времени давления и скорости движения. Результаты исследования сопоставляются с опытными данными.

Влияние вихревого шнура на общую картину потока

Обычно отсасывающая труба турбины делается сложноконической формы, в которой ударные характеристики по их длине непостоянны. Для упрощения расчета рассматривается эквивалентная схема, в которой коническая труба заменена цилиндрической с постоянными по длине характеристиками [4].

Пусть в круглой цилиндрической трубе радиусом R течет смесь идеальных жидкостей и газов. Движение предполагается одномерным, а давление в любом сечении трубы одинаковым для всех компонентов. Обозначим через ω_n — площадь, занятую n -ой средой в единице площади смеси, тогда для всех N компонентов можем написать

$$\sum_{n=1}^N \omega_n = 1. \quad (1)$$

Если считать $\omega_n = \text{const}$ для всего поперечного сечения, тогда

$$\omega_n F = \Omega_n.$$

Очевидно Ω_n есть часть площади поперечного сечения трубы, занятой n -ой средой смеси, т. е.

$$F = \sum_{n=1}^N \Omega_n \quad (2)$$

или

$$\frac{\partial F}{\partial t} = \sum_{n=1}^N \frac{\partial \Omega_n}{\partial t}. \quad (3)$$

В силу (2) и (3)

$$\frac{\partial \Omega_n}{\partial t} = \frac{\partial F}{\partial t} = \sum_{n=1}^{N-1} \frac{\partial \Omega_n}{\partial t}. \quad (4)$$

По закону Гука

$$dR = \frac{R^3}{E\delta} \cdot dP.$$

Поэтому

$$\frac{\partial F}{\partial t} = \frac{2FR}{E\delta} \frac{\partial P}{\partial t}. \quad (5)$$

где δ и E — толщина стенок и модуль упругости трубы.

Полагая, что все компоненты потока обладают свойством изотропии, получим следующие уравнения движения и неразрывности неустойчившегося движения смеси:

$$\rho_n \frac{\partial V_n}{\partial t} + \rho_n \frac{\partial V_n}{\partial x} \frac{dx}{\partial t} = - \frac{\partial P}{\partial x}, \quad (6)$$

$$\frac{1}{\rho_n} \frac{\partial \rho_n}{\partial t} + \frac{1}{\Omega_n} \frac{\partial \Omega_n}{\partial t} = - \frac{\partial V_n}{\partial x}, \quad (7)$$

Учитывая, что $d\rho = \frac{dP}{a^2}$, из (7) получим

$$\frac{\partial \Omega_i}{\partial t} = - \Omega_i \left[\frac{\partial V_i}{\partial x} + \frac{1}{\rho_i a_i^2} \frac{\partial P}{\partial t} \right], \quad (8)$$

Подставляя (5) и (8) в (4) и заменив в (7) производную от Ω_n по этой формуле будем иметь:

$$\sum_{i=1}^N \Omega_i \frac{\partial V_i}{\partial x} + \left[\sum_{i=1}^N \frac{\Omega_i}{\rho_i a_i^2} + \frac{2FR}{E\delta} \right] \frac{\partial P}{\partial t} = 0. \quad (9)$$

Пренебрегая вторым членом левой части уравнения (6) и дифференцируя его по t , а затем по x , а уравнение (9) по x , а затем по t , получим:

$$\frac{\partial^2 V_n}{\partial x^2} = \frac{1}{a_b^2} \frac{\partial^2 V_n}{\partial t^2}, \quad (10)$$

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} = \frac{1}{a_b^2} \frac{\partial^2 P}{\partial t^2}, \quad (11)$$

где

$$a_b^2 = \frac{\sum_{i=1}^N \Omega_i}{\rho_n \left[\sum_{i=1}^N \frac{\Omega_i}{\rho_i a_i^2} + \frac{2FR}{E\delta} \right]}. \quad (12)$$

Очевидно a_b и есть средняя скорость распространения волны давления гидравлического удара в смеси, ибо полученная система уравнения (10—(11) есть общеизвестное волновое уравнение.

Для двухкомпонентной среды формула (12) будет иметь вид:

$$a_b^2 = \frac{\Omega_1 + \Omega_2}{\rho_n \left[\frac{\Omega_1}{\rho_1 a_1^2} + \frac{\Omega_2}{\rho_2 a_2^2} + \frac{2FR}{E\delta} \right]}. \quad (13)$$

Пусть среда Ω_1 отделена от среды Ω_2 . Очевидно, $\Omega_1 = F - \Omega_2$.

$$v = \frac{\Omega_2}{\Omega_1}$$

$$\rho_2 = \frac{\Omega_2 \rho_1 + \Omega_1 \rho_2}{\Omega_1 + \Omega_2} = \frac{\rho_1 + \nu \rho_2}{1 + \nu}$$

При этих обозначениях формула (13) примет вид:

$$a_b^2 = \frac{(1 + \nu)^2}{(\rho_1 + \rho_2 \nu) \left[\frac{1}{\rho_1 a_1^2} + \frac{\nu}{\rho_2 a_2^2} + \frac{2RF}{E_b (F - \Omega_2)} \right]}. \quad (14)$$

Если стенки трубы нерастяжимы, т. е. $E = \infty$, из (14) будем иметь:

$$a_b^2 = \frac{(1 + \nu)^2}{(\rho_1 + \rho_2 \nu) \left[\frac{1}{\rho_1 a_1^2} + \frac{\nu}{\rho_2 a_2^2} \right]}. \quad (15)$$

Для проверки формулы (14) были поставлены опыты [7, 8].

Ввиду возникнувших трудностей получения однородной смеси воды и воздуха в трубопроводе, длиной 68 м ($R=32$ см, $\delta=4$ мм), был проложен резиновый шланг, надутый воздухом. Для этого служащая была получена следующая формула [7]:

$$a_b = \frac{1435}{\sqrt{1 + \frac{\nu}{E} \frac{2R}{\delta} + \frac{\Omega_2}{(F - \Omega_2)} \frac{\varepsilon}{E_2 \frac{\delta_2}{D_2} + \nu_b}}}, \quad (16)$$

где ε , E_2 и ε_b — модули упругости воды резины и воздуха; D_2 и δ_2 — диаметр и толщина стенки резинового шланга.

Если шланг выполнен из весьма тонкой и эластичной резины, формула (16) примет вид:

$$a = \frac{1435}{\sqrt{1 + \frac{\nu}{E} \frac{2R}{\delta} + \frac{\Omega_2}{(F - \Omega_2)} \frac{\varepsilon}{\nu_b}}}. \quad (17)$$

Результаты экспериментов представлены на рис. 1 точками; кривые 1 и 2 вычислены по формулам (14), (16) и (17), причем формулы (14)

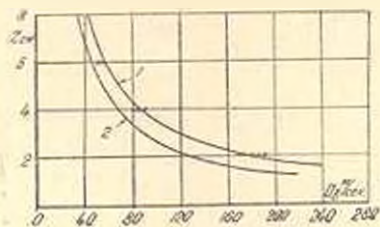


Рис. 1. Сравнение результатов расчета с опытными данными

и (17) дают одинаковые результаты. Не трудно заметить, что результаты опыта с достаточной точностью совпадают с кривой 1 и несколько отклоняются от кривой 2. Это объясняется влиянием резинового шланга, что в формулах (14) и (17) не учитывается. Из сопоставления следует, что формулы (13) или (14) дают достаточно точные результаты, и они могут быть рекомендованы для практических расчетов при наличии в

трубе воздушной струи поперечным сечением Ω_2 . Метод определения Ω_2 для отсасывающей трубы изложен в [8].

Изменение давления и скорости течения во времени

Уравнения (10) и (11) с достаточной точностью описывают явления в случае одномерного течения. Для решения этих уравнений необходимо иметь закон изменения во времени скорости движения потока в этом сечении.

С целью упрощения задачи допускаем, что лопасти рабочего колеса поворотно-лопастной турбины закрываются мгновенно. Перепишем уравнение (6) в таком виде:

$$\frac{1}{g} \left(\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial V}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial t} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(Z + \frac{P}{\gamma} + h_T \right). \quad (18)$$

Здесь Z — отметка центра тяжести поперечного сечения трубы над плоскостью сравнения; γ — объемный вес жидкости.

$$h_T = \frac{V^2}{2g} (\zeta + 1),$$

где ζ — коэффициент сопротивления системы.

Пусть рассматриваемое сечение отсасывающей трубы находится на расстоянии L от выходного, где $x=0$; $V_x=0$; $Z_x=0$.

Принимая жидкость несжимаемой, $\left(\frac{\partial V}{\partial x} = 0 \right)$, умножая (18) на dL и интегрируя по всей длине трубы, получим:

$$\frac{L}{g} \frac{dV_x}{dt} = \left[\left(Z + \frac{P_0}{\gamma} \right) - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{P_x}{\gamma} + \frac{V_x^2}{2g} (\zeta + 1) \right) \right]. \quad (19)$$

Учитывая, что при $t=0$

$$\frac{dV_x}{dt} = 0, \quad V_x = V_0,$$

из (19) получим:

$$- \frac{V_0^2}{2g} (\zeta + 1) = \left(Z + \frac{P_0}{\gamma} \right) - \frac{P_x}{\gamma} = h_T. \quad (20)$$

Следовательно,

$$dt = - \frac{2L}{(\zeta + 1)V_0} \cdot \frac{dV_x}{V_0^2 + V_x^2}. \quad (21)$$

Интегрируя (21), будем иметь:

$$t = - T \operatorname{Arctg} \frac{V_x}{V_0} + C, \quad (22)$$

где

$$T = \frac{2L}{(\zeta + 1)V_0}. \quad (23)$$

При $t=0$ из (22) находим

$$C = T \operatorname{Arctg} \frac{V_0}{V_0} = T \frac{\pi}{4}. \quad (24)$$

Подставляя (24) в (22), после преобразования получим:

$$V_x = V_0 t g \left(\frac{\pi}{4} - \frac{t}{T} \right). \quad (25)$$

Из (25) видно, что при мгновенном закрытии турбины начальная скорость потока, уменьшаясь, в конце момента времени t_A становится равной нулю. Причем здесь влияние волны давления гидравлического удара не учитываются. На основании общей теории гидравлического удара влияние упругости можно учесть путем совместного решения системы уравнения (10)–(11) и (25).

Пусть, например, в цилиндрической отсасывающей трубе $L = 11,27$ м, $R = 10$ см, $\delta = 6$ мм, $V_0 = 2,16$ м/сек, $c = 7$, имеется вакуум $Z_{b0} = 0,75$ м, чему, согласно методу, изложенному в работе [8], соответствует $\Omega_2 = 0,55$ см², поэтому по (13) или (14) получим $a_b = 320$ м/с. Фаза колебания $\mu = 0,07$ сек; $T = 1,3$. Подставляя V_0 и T в (25) и задавая значениями t , получим кривую — 1, показанную на рис. 2. Из рис.

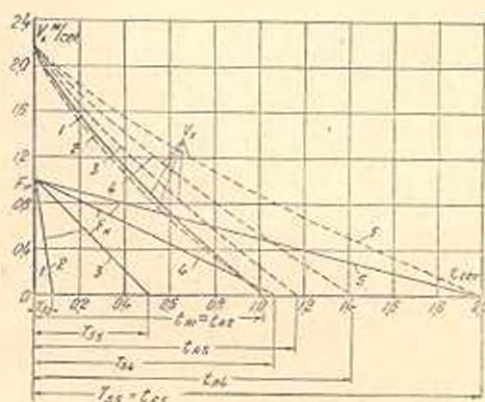


Рис. 2. Изменение по времени скорости в зависимости от времени закрытия турбины.

2 видно, что при $t_A = 1,02$ сек., $v_x = 0$. Допустим, что закрытие происходит не мгновенно, а в течение времени $T_{A2} = 0,085$ сек. Разбивая этот промежуток времени на отдельные интервалы ΔT , и принимая каждый из них за мгновенную, по (25) для V_x получим кривую — 2, которая мало отличается от кривой — 1. Следовательно, в случаях, когда T_A очень малая величина по сравнению с t_A , то без заметных ошибок для V_x можно считать закрытие мгновенным.

Если T_{33} , T_{34} и T_{35} сопоставимы по величине с t_A , получим соответственно кривые 3, 4, 5, показанные на рис. 2. Можно заметить, что с увеличением T_A , t_A увеличивается, а разность $t_A - T_A$ уменьшается. В случае, когда $T_A = t_A$ вместо (25) можно пользоваться следующим выражением:

$$V = C \sqrt{H}, \quad (26)$$

где C — гидравлическое открытие задвижки.

Разбивая кривую 1 пофазно и учитывая, что в конце первой фазы отраженная из отводящего канала волна доходит до створа трубы $x = L$ и там возникает некоторая скорость ΔV_{x1} , направленная против течения, получим:

$$\begin{aligned} V_1 &= V_{x1} \\ V_2 &= V_{x2} - \Delta V_{x1} \\ V_3 &= V_{x3} - \Delta V_{x2} - \Delta V_{x1} \end{aligned} \quad (27)$$

Вычисления нанесены на рис. 3 в виде кривой V , которая представляет собой фактическую скорость движения колонны воды с учетом упругих деформаций.

Переходим к определению кривой изменения давления.

Приведенные выше цифровые данные были взяты из опытов, описанных в [9]. На экспериментальной установке давление перед рабочим колесом было равно $Y_0 = 0,20$ м, промежуток времени $T_s = 0,085$ сек направляющий аппарат полностью закрывался и производилась запись изменения во времени величины Y и Z_i (рис. 3).

Пользуясь кривой V (рис. 3) по цепным уравнениям [7]

$$\Delta Z_{b1} = \frac{a_2}{g} (\sigma_0 - V_1),$$

$$\Delta Z_{b2} = \frac{a_2}{g} (V_1 - V_2) - \Delta Z_{b1} \quad (28)$$

$$\Delta Z_{b3} = \frac{a_2}{g} (V_2 - V_3) - \Delta Z_{b2},$$

которые получены после интегрированием (10)–(11), была вычислена кривая Z_b , нанесенная на рис. 3 в виде пунктирной линии.

По кривой можно видеть, что в конце времени t_0 , когда $Y = 0$, $V = 2,10$ м/сек, колонна воды, отрываясь от направляющего аппарата, движется к отводящему каналу. За время $t_s - t_0$ колонна пройдет путь

$$S_1 = V(t_s - t_0) - \frac{m(t_s - t_0)^2}{2}.$$

Так как $t_s = 0,42$ сек, $t_0 = 0,045$ сек, $m = \frac{t_s - t_0}{V}$, получим $S_1 = 0,375$ м.

За время $T_s = 0,083$ сек расход воды от величины $Q_0 = 0,068$ м³/сек уменьшится до нуля. Объем протекающей через направляющий аппарат воды будет равен:

$$W = \frac{Q_0 T_s}{2} = 0,003 \text{ м}^3.$$

При поперечном сечении трубы $F = 0,0314$ м²

$$S_2 = \frac{W}{F} = 0,096 \text{ м}, \quad \Sigma S = S_1 - S_2 = 0,279 \text{ м}.$$

Расстояние от выходной кромки рабочего колеса до направляющего аппарата равно 0,2 м. Поэтому поток отходит от рабочего ко-

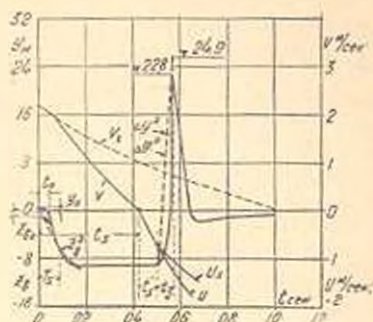


Рис. 3. Сопоставление расчетных и экспериментальных кривых давления и модельной отсасывающей трубы.

леса на величину 0,079 м. Так как в конце первой фазы $V_1=1,88$ м/сек, по (28) находим $\Delta Z_{01}=-9,1$ м. Эта величина до конца времени t_2 остается постоянной.

В конце времени t_2 под напором ΔZ_0 начнется обратное движение воды со скоростью [7]:

$$u = u_0 \frac{e^{\frac{t}{T_1}} - 1}{e^{\frac{T_1}{\zeta}} + 1}, \quad (29)$$

$$u_0 = \sqrt{\frac{2g \Delta Z_0}{\zeta + 1}} = 4,7 \text{ м/сек.} \quad (30)$$

$$T_1 = \frac{L u_0}{2g \Delta Z_0} = 0,29. \quad (31)$$

Подставляя T_1 и u_0 в (29), находим кривую u обратного движения. Из условия равенства прямого и обратного пути движения колонны находим время $t_1^1=0,08$ сек. С этого момента рабочее колесо начинает препятствовать обратному движению. Поэтому вводя в формулу (29) значение коэффициента сопротивления рабочего колеса взамен кривой и (рис 3), получим кривую u_x . Емкость между направляющим аппаратом и рабочим колесом, по кривой u_x , заполнится за время $t_1=0,07$ сек. В момент заполнения $u_x=1,05$ м/сек, и за направляющим аппаратом давление над статическим повысится на величину:

$$\Delta u^p = \frac{u_x u_x}{g} = 34,0 - 9,1 = 24,9 \text{ м. По опыту } \Delta u^p = 22,8 \text{ м.}$$

Удовлетворительная сходимость результатов расчета и опыта свидетельствует о том, что замена трехмерного потока одномерным вполне допустима.

Перейдем теперь к расчету натурной отсасывающей трубы в случае, отвечающем описанной в работах [5, 9] аварии. Коническая изогнутая отсасывающая труба (рис. 4) имеет $Q_0=440$ м³/сек; $L=37,0$ м; $\zeta=2$; эквивалентный диаметр $D=10,3$ м; $V_0=5,8$ м/сек. По заданным значениям согласно рис. 4 находим изменения P_b и Ω_2 , а затем по формуле (14) определяем $a_b=197$ м/сек.

Относительное изменение расхода q из (5) приведено на рис. 5, где нанесена кривая $Z_b(t)$, полученная по формуле (28). Атмосферное давление в районе ГЭС $Z_a=9,5$ м, поэтому по кривой Z_b на рис. 5 в момент $t_0=4$ сек. колонна воды от рабочего колеса отрывается. В этот момент $q=0,53$, $V=3,08$ м/сек. Аналогично предыдущему находим $7=8$ сек и кривые V , V_x , которые нанесены на рис. 5. По этим кривым видно, что в конце времени $t_s=3,9$ сек $V_r=0$. За это время колонна пройдет путь $S_1=6,0$ м поскольку за это же время через направляющий аппарат в отсасывающую трубу вливается вода в объеме $W=472$ м³ и заполняет участок трубы длиной $S_2=5,7$ м.

длина опорожненного участка трубы будет $\Sigma S = 0,3$ м. По окончании этого движения колонна воды под напором $Z_0 = 9,5$ м начнет двигаться в обратном направлении. Для этого случая из (30) и (31) находим $u_0 = 7,9$ м/сек $\Gamma_1 = 1,57$, а по (29) получим кривую n , нанесенную на рис. 5. Пользуясь кривыми q и u и учитывая, что обратный путь

$S^1 = \Sigma S - \Delta S$ (ΔS — длина участка трубы, заполненная дополнительно вливающимся расходом за время обратного движения колонны воды), находим, что в конце времени $t_2 = 0,75$ сек колонна замыкает

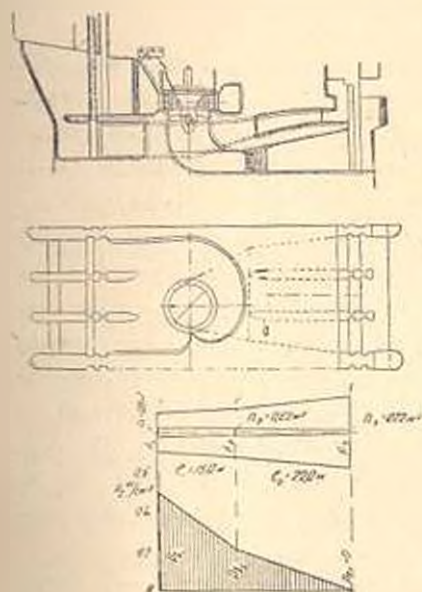


Рис. 4. Схема установки отсасывающей трубы.

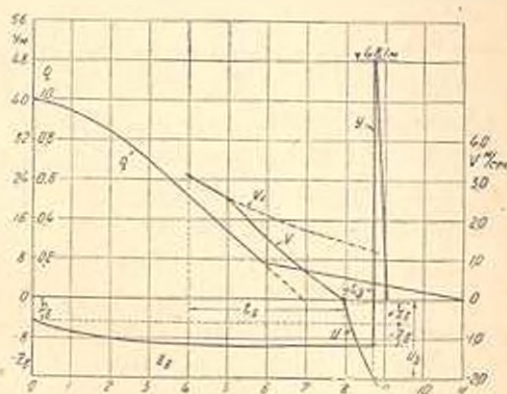


Рис. 5. Кривые изменения скорости и давления в отсасывающей трубе натурной турбины.

ся с рабочим колесом. В этот момент по кривой u (рис. 5) имеем $u_2 = 2,0$ м/сек. Вакуумное давление, отражаясь удваивается с положительным знаком, поэтому $Z_b = -9,5$ м. Скорость воды u_2 создает повышение давления $\Delta u_2 = \frac{a}{g} u_2 = 38,6$ м. Следовательно, под рабочим колесом повышение давления над статическим будет $\Delta u = 9,5 + 38,6 = 48,1$ м. Таким образом, вследствие отрыва колонны воды давление резко возрастает, что может причинить большие неприятности [9].

В заключение отметим, что предлагаемый метод расчета позволяет достаточно точно назначить параметры регулирования гидротурбин.

Բ. Լ. ԲՈՒՆԻԱԹՅԱՆ

ՀԵՂՈՒԿՆԵՐԻ ԶՀԱՍՏԱՏՎԱԾ ՀԱՐԺՄԱՆ ՌԵԺԻՄԸ ԻՆՎԵՏԻՎ
ՀԻԴՐՈՏՈՒՐԻՆՆԵՐՈՒՄ

(Հաղորդում 1)

Ա մ փ ո փ ս ռ մ

Հիդրոտուրբինների արագ բեռնաթափման զեպյում նրա ծծող խողովակում առաջանում է չհաստատված շարժում, որը մինչև հիմա անհրաժեշտ չափով ուսումնասիրված չէ և չունի իր լուծումը: Այդ խնդրի լուծման հիմնական դժվարությունը հանգում է ջրի պոտոտակային շարժման և նրա մեջ ողախառն մրրիկային պալարի առկայությանը: Ծծող խողովակում գոյություն ունեցող եռաչափ պոտոտակային շարժումը մտովին փոխարինելով միաչափ շարժմամբ և զրկելով հիդրոդինամիկայի հավասարումը, ապացուցվում է, որ օղախառն մրրիկային պալարը երևույթի վրա ազդում է միայն ալիքի տարածման արագության փոքրացմամբ: Ստացված (14) բանաձևը, որով կարելի է հաշվել ալիքի տարածման արագությունը երկֆոզ հեղուկներում, տալիս է ֆորմերից ստացված արդյունքների հետ բավականին լավ համընկնում:

Նույն ալիք հավասարումների օգնությամբ հողվածում ստացվել են (25), (27—28) բանաձևերը, որոնց օգնությամբ կարելի է որոշել ջրի սլան հետ առաջ շարժվելու բնույթը, ինչպես նաև ճնշման փոփոխությունը բառ ժամանակի:

Հաշվումներից ստացված արդյունքները բավարար ճշտությամբ համընկնում են փորձնական արդյունքներին, որով և ապացուցվում է մշակած տեսության ճիշտ և ընդունելի լինելը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Егиазаров Н. В. Задачи научных исследований по изучению режимов работы гидроэнергосистем и их автоматического регулирования. Известия АН Армянской ССР, № 1, 1953.
2. Бунятян Б. Л. О неустойчивых режимах движения жидкости в напорных подводах. Известия ОНН АН Армянской ССР, № 1, 1961.
3. Бунятян Б. Л. Неустойчивые движение воды в нагнетательных трубопроводах центробежных насосов. Известия ОНН АН Армянской ССР, № 3, 1962.
4. Егиазаров Н. В. Гидроэлектрические, силовые установки, ч. III, 1937.
5. Тиме В. А. Об обратном гидравлическом ударе в отсасывающих трубах поворотно-лопастных турбин. Журн. "Электрические станции" № 3, 1960.
6. Картавелишвили Н. А. Современное состояние гидравлической теории нестационарных потоков по работам в СССР. Известия ОНН АН СССР, № 9, 1961.
7. Бунятян Б. Л. и Зорян З. А. Неустойчивое уменьшение скорости распространения волны давления гидравлического удара и цели его моделирования. Известия ОНН АН Армянской ССР, № 4, 1956.
8. Бунятян Б. Л. О скорости распространения волны давления гидравлического удара в отсасывающих трубах. Известия ОНН АН Армянской ССР, № 3, 1959.
6. Кривченко Г. И., Аршеневский И. И. и Клубуков В. М. Режимы регулирования поворотно-лопастных гидротурбин. Госэнергониздат 1960, М.—Л.

ГИДРОТЕХНИКА

И. В. ЕГИАЗАРОВ

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И БОРЬБА С ИСПАРЕНИЕМ ВОДЫ
С ПОВЕРХНОСТИ МАЛЫХ И БОЛЬШИХ ВОДОЕМОВ*

§ 1. О дефиците водных ресурсов

Говорить о ресурсах воды и об их многообразном комплексном использовании—означает затрагивать почти все вопросы народного хозяйства и быта. На протяжении всей многовековой, скорее многотысячелетней, истории использования человеком пресных наземных вод, вода потреблялась для ирригации, бытового водоснабжения и судоходства; в XIX веке и вплоть до пятидесятых годов XX столетия—для промышленного водоснабжения и за последнее время особенно интенсивно—для энергетических целей. Но уже вторая половина XX века ставит перед человечеством новые вопросы и задачи, требующие воду в очень больших количествах. Темпы роста всех видов народного хозяйства невероятно увеличились и продолжают нарастать, а так как растет и население земного шара, которое в 1900 году составляло 1,5 млрд жителей, теперь приближается к 3 млрд, к 2000 году составит около 5 млрд жителей, то одна только проблема питания приводит к потребности в воде, которая в южных районах с 80 процентами всего населения земного шара из года в год ставит все новые вопросы, являющиеся следствием дефицита воды.

Эти новые вопросы водоснабжения связаны со следующими обстоятельствами:

1. Резко растущим бытовым водоснабжением.
2. Ростом потребности промышленности в воде. Этот рост определяется двумя факторами: собственно потреблением воды для промышленного производства, и, что очень прискорбно, в 10—100 раз, а иногда и в 1000 раз большей потерей воды для других нужд, вследствие ее загрязнения и отравления промышленными отходами, сбрасываемыми в реки.
3. С ростом мощности тепловых электростанций. Если до сих пор строились тепловые станции мощностью в десятки и сотни тысяч киловатт, то теперь началось строительство тепловых станций мощно-

* Доложено на общем собрании Академии наук Армянской ССР 23 марта 1962 г.

стью в миллионы киловатт, на угле, нефти и особенно на газе, а также и на атомном топливе; 80% всей электрической энергии вырабатывается на тепловых станциях. Тепловые процессы на всех этих станциях требуют воду не только для парообразования, но в значительно большем количестве для охлаждения, так что средние реки не могут удовлетворить эту потребность; большие тепло-электростанции должны строиться на берегах больших рек или водоемов. В Армянской ССР ни одна из рек не может удовлетворить эту потребность и мощную тепловую электростанцию можно расположить только на берегу озера Севан. Атомные же станции, которые тоже являются тепловыми, требуют воду как для охлаждения так и для удаления радиоактивных отходов, которые несут с собой лучевую болезнь и которые способны заразить воду в огромных количествах. Английские инженеры подсчитали, что радиоактивные отходы, сбрасываемые в Атлантический океан, способны к 2000 году заразить 5% объема Атлантического океана.

4. Растущими нуждами орошения и обводнения больших территорий, требующими больших количеств воды; но только 40—60% воды используется полезно, а остальная вода теряется, и притом не только теряется, но приводит зачастую к заболачиванию и засолению территорий.

5. Необходимость обеспечения потребностей рыбоводства в воде требует не столько количества воды, сколько ее качества, чистоты, что идет полностью в разрез с загрязнением и отравлением воды, уже отмеченным выше.

6. Необходимостью обеспечения сохранности уровня внутренних морей, как например Каспийского моря. Известно, что за последние десятилетия этот уровень непрерывно падает вследствие разбора воды притоков моря на нужды народного хозяйства и вследствие больших потерь на испарение, о которых речь еще будет впереди. Для пополнения Каспийского моря водой уже приступлено к переброске вод рек, питающих Северный Ледовитый океан в рр. Каму и Волгу.

7. Необходимостью обеспечения водой гидростанций не только старых, уже работающих, но и новых, мощность которых уже достигла 5 миллионов киловатт в одной станции и которых к 1980 году должно быть построено около 180.

Рост потребности в воде и острая необходимость в охране вод от загрязнения привели Совет Министров СССР к изданию Постановления об использовании водных ресурсов и об охране вод. Нужно принять все меры к тому, чтобы это постановление было полностью осуществлено. В соответствии с этим постановлением все союзные Академии наук организовали институты по проблемам водного хозяйства. Академия наук Армянской ССР преобразовала бывший Водно-энергетический институт в два института: Институт энергетики и Институт водных проблем.

Характерной особенностью старых потребителей воды—иригации и судоходства, было приспособление нужд в воде этих потреби-

телей к наличным водным ресурсам, со слабым стремлением к вмешательству человека в режим подтока, к некоторому сезонному перераспределению наличных водных ресурсов, к регулированию стока. Стремление регулировать сток воды и создавать для этого большие водохранилища более резко выражено у энергетического потребителя воды, у гидроэлектростанций. Но создание водохранилищ с большими водными свободными поверхностями приводит в южных районах к большим потерям воды на испарение, а иногда и на инфильтрацию в чашу водохранилища; борьба с инфильтрацией всегда максимально осуществлялась, а с испарением до последнего времени не было средств борьбы.

Отмеченное приспособление старых потребителей воды—ирригации, судоходства и энергетики выражалось в том, что их потребности планировались и проектировались на основе и параллельно с изучением водных ресурсов и с возможностями этих водных ресурсов. Остальные потребители воды в прошлом были настолько скромны, что еще недавно в планировании их потребности не было особой нужды.

Несмотря на наличие в Союзе ССР огромных, по общему количеству, водных ресурсов наземных и подземных (грунтовых), их распределение крайне неравномерно и отличается тем, что наиболее богатые ресурсы расположены на территориях, слабо населенных и слабо развитых (например, Сибирь). Вместе с тем и распределение стока в течение года далеко не отвечает годовому распределению в потреблении воды.

Поэтому необходимы водохранилища для регулирования стока рек не только для гидроэлектростанций, но и для промышленных нужд. Поэтому уже в ближайшем будущем необходимо планировать развитие населенных мест (городов) и развитие промышленных центров в районах, богатых водой. Такое планирование по воде еще только начинается.

Как следствие, большое значение приобретает использование подземных и грунтовых вод; это использование должно развиваться наряду с использованием наземных вод. Большое значение должно получить годовое и многолетнее регулирование подземными водами и последующее их восполнение. Подземные водохранилища интересны и тем, что хранение в них воды не связано с потерей на испарение.

До сих пор использование подземных вод значительно отстает от использования наземных, в частности в СССР, а также и в Армянской ССР, где благодаря деятельности вулканов создались условия, исключительно благоприятные для образования подземных водохранилищ (примером может служить Араратская котловина).

При отмеченном большом дефиците воды в южных районах СССР, необходимо подчеркнуть наличие огромных непроизводительных потерь воды. К таким потерям в первую очередь относится испарение с водных поверхностей и потери воды, используемой для орошения.

Почему испарение следует считать потерей? Потому, что испаряющаяся влага, как правило, не выпадает в виде осадков там же, а уносится воздушными течениями далеко от места испарения и выпадает в виде осадков обычно на территориях с избыточным увлажнением. Поэтому необходима и полезна борьба с испарением. Прямая борьба с испарением, без уменьшения испаряющей поверхности, стала теперь возможна благодаря замечательным свойствам мономолекулярной пленки жирных спиртов.

Но прежде чем перейти к характеристике одномолекулярной пленки, которая способна уменьшать испарение с водной поверхности, необходимо остановиться на характеристике существующих у нас южных водоемов, озер, водохранилищ и прудов, на оценке теряемых на испарение количеств воды и на возможных объемах спасаемой от испарения воды.

Такая сэкономленная вода настолько велика по объему, что ее сохранение равносильно созданию нового большого источника воды. равноценна увеличению водных ресурсов, которыми мы располагаем в южных районах и которые становятся все более дефицитными.

§ 2. Южные водоемы СССР и потери воды на испарение с их поверхности

В СССР, южнее 55° северной широты, потери воды на испарение с водной поверхности обычно превышают то количество воды, которое выпадает в виде осадков на эту поверхность. Для наших южных союзных республик это соотношение еще более резкое, в особенности для месяцев наибольшего испарения.

Потеря воды на испарение с семи южных морей и озер составляет около 450 куб. км и почти в 5 раз превышает осадки, выпадающие на поверхности этих водоемов. Этот испаряющийся объем равен приблизительно десяти полным объемам озера Севан.

Общая площадь южных водоемов и водохранилищ составляет не менее 250 тыс. кв. км, а вместе с Каспийским и Аральским морями больше 700 тыс. кв. км (см. приложение к § 2). Испарение с этих водоемов составляет ежегодно от 70 до 130 см с каждого квадратного метра площади водоема. Считая в среднем 80 см слоя испарения, получим потерю воды со всех водоемов, кроме морей, в 200 куб. км, т. е. больше трех объемов озера Севан.

Возможность сэкономить даже небольшую долю воды, теряемой на испарение, равносильна обнаружению новых больших водных ресурсов. Так, для юга СССР экономия 20% испаряющейся воды составила бы ежегодно 40 млрд. куб. м полезной воды, т. е. две третьих объема озера Севан. Для озера Севан экономия испарения в 20% за месяцы наибольшего испарения может дать около 180 млн.

куб. метр. воды, т. е. столько же сколько будет вытекать из озера после нового равновесного уровня, при снижении на 20 м, т. е. при новой принятой равновесной отметке уровня озера в 1896 м. Иначе говоря, экономия испарений в 20% равноценна удвоению нового равновесного стока из оз. Севан. Это количество сэкономленной воды может оросить больше 20000 гектаров и, следовательно, имеет огромное значение для сельского хозяйства. Севанский каскад из 6-ти гидроэлектростанций уже построен и способен принять сток воды в 1200 млн. куб. м, т. е. во много раз больший, чем новый равновесный сток в 180 млн. куб. м. Следовательно, все то, что может дать переброска из соседних рек, как река Арпа, и все то, что может дать экономия в испарении, даже если эта экономия составит не 20, а все 100%, будет полностью использовано для ирригации и для Севанского каскада гидроэлектростанций, без каких бы то ни было новых капиталовложений и затрат на этот каскад. Каждый кубический метр спасенной воды может дать на каскаде 2 кв. часа электрической энергии, и притом самой ценной энергии, способной многолетне регулировать не только свои гидроэлектростанции, но и гидроэлектростанции всей Армянской энергосистемы.

В рассмотренных южных районах СССР и в Армянской ССР влияние испарения на осадки незначительно и, как показали исследования ГУГМС, это влияние ограничивается небольшой прибрежной полосой. Испаряющаяся влага поднимается в верхние слои атмосферы и уносится далеко на восток. Для озера Севан влага уносится за пределы Каспийского моря к горам Тянь-Шаня, где эта влага не нужна, так как имеется в огромном избытке.

Приложение к § 2. В таблицах № 1—5 даны сведения о числе, площади, значении испарения с южных побережий СССР.

Необходимо отметить, что по СССР не имеется полного кадастра водоемов и их паспортизации. Пришлось, для получения представления о занимаемых ими площадях и об испаряемых объемах воды, использовать разрозненные данные, разбросанные по большому числу источников. Разумеется, приводимые в таблицах итоговые данные будут несколько занижены.

Для сравнения приводим некоторые данные по США. Площадь 1300 озер и водохранилищ, каждое из которых по емкости больше 6 млн. куб. м, составляет 44,5 тыс. кв. км и площадь 1,5 млн. водоемов (ср. площадь в среднем 0,4 га) составляет 6 тыс. кв. км, т. е. всего около 50 тыс. кв. км или в 5 раз меньше площади южных водоемов СССР.

Испарение в южной части США значительно больше чем в СССР и для 21 водоема колеблется от 1100 до 2900 мм (в Техасе достигает 3300 мм). В среднем на испарение теряется 1800 мм, т. е. больше, чем расходуется на сельскохозяйственное орошение. В бассейне р. Колорадо на испарение теряется одна шестая запасов воды в водохранилищах, тогда как на ирригационный полив расходуется одна треть этой емкости. В штате Оклахома испарение с прудов в 10 раз больше, чем полезно используемый объем воды. Для 17 западных штатов США потеря на испарение и на транспирацию оценивается в 36 куб. км. Считая среднее испарение в 1800 мм (см. выше), получается для США потеря воды на испарение с водоемов в 90 куб. км.

Таблица 1

Водоемы-пруды (кроме водохранилищ)

	Площадь кв. км	И с т о ч н и к
РСФСР	288	Справочник по водному хозяйству Гидровод. МСХ СССР, 1958.
Туркменская ССР	156,2	
Узбекская ССР	70	
Казахская ССР	26	
Грузинская ССР	14	
Азербайджанская ССР	2,7	
Армянская ССР	22,75	Министерство водного хозяйства Армянской ССР
СССР	601,7	

Таблица 2

Пруды, водоемы, водохранилища, озера

Площадь в кв. км	Суммарная площадь в кв. км 10 ⁴	И с т о ч н и к
0,01—1	20	Труды III Гидрологического съез- да 1957 г., т. IV.
1—20	156	
20—50	7	
50—100	10	
100—500	48	
500—1000	16	
более 1000	24	

281

Площадь озер СССР, кроме Каспий- ского моря	300	Водный кадастр СССР Т о ж е
Водохранилища, действующие . . .	25	
В том числе:		
Волга (Иваньково), Угличское, Ры- бинское, Горьковское, Куйбышев- ское (Куйбышевское 6,45)	13,12	Труды III Гидрологического съезда, 1957 г., т. IV.
Кама (Пермское)	1,93	
Днепр (ДнепроГЭС, Казовка) . . .	2,56	
Дон (Цимлянское)	2,70	
Кура (Мингечаур)	0,60	
Обь (Новосибирск)	1,07	
Сыр-Дарья (Кара-Кумск.)	0,51	
Ангара (Иркутское)	1,15	

24,0 тыс. кв. км

Таблица 3

Планируемые и проектируемые водохранилища

	Площадь в кв. км	И с т о ч н и к
Армянская ССР	88,5	Министерство водного хозяйства Армянской ССР
Киргизская ССР	1126,5	Институт энергетики и водного хозяйства АН Киргизской ССР
Грузинская ССР	250,0	Институт энергетики АН Грузинской ССР
Казахская ССР	15,0	АН Казахской ССР
Азербайджанская ССР	23	Азербайджанский НИИ ГИМ
Средняя Азия	2880,0	Институт водных проблем и гидротехники АН Узбекской ССР

Таблица 4

Моря и озера (южные)

	Площадь по Звонкову	Кв. км. $\times$ $\times 10^4$	Осадки		Испарение		Отношение испарения к осадкам	Источник
			мм	куб. км	мм	куб. км		
Каспийские	394	424	172	73	1000	424	5,75	Сборник под ред. Е. П. Билияка 1957 г.
Аральское	63,8	68,7	82	5,6	920	63	11,2	
Балхаш	17,3	17,3	180	3,1	1330	23	7,4	
Иссык-куль	6,2	6,2	275	1,7	850	5,25	3,1	
Кулундинское . . .		0,91	217	0,2	710	0,645	3,3	
Байкал	31,5		294	9,25	(700)	(22)	(2,4)	III Гидрол. съезд 1957 г. т. IV, и Проблема озера Севан АН Арм. ССР 1961 г. т. I
Севан*		1,4	348	0,49	766	1,085	2,2	
		518,5		94		539	4,65	

* Сток из озера Севан 0,135 куб. км, приток в озеро Севан 1,22 куб. км или испарение с поверхности озера составляет 90%, притока со всего бассейна озера (озеро почти бессточное).

Таблица 5

Сводная таблица площадей и испарения

	Площадь в кв. км	Теряется на испарение (считая в среднем 800 мм) куб. км
Озера	230000	184
Аральское море	70000	56
Каспийское море	400000	320
Водохранилища, действующие . . .	25000	
Из них южные	17000	13,6
Волосмы-пруды	600	4,8
Проектируемые и строящиеся водо- хранилища	4630	3,7
ИТОГО без Каспийского и Араль- ского морей	252000	206 куб. км
Моря	470000	376
Озеро Севзи на уровне 1896 м . . .	1230	0,82

§ 3. Пленка цетиловых спиртов толщиной в одну молекулу и ее замечательная способность уменьшать потери на испарение

Молекулы жирных цетиловых спиртов (гексадеканоль) и жирных стеариловых спиртов (октодеканоль) с 12 до 20 углеродными цепочками имеют одну гидроксильную группу (ОН) на молекулу. Этот гидроксил аналогичен гидроксилу молекулы воды и прочно им удерживается на поверхности воды после контакта, тогда как вся цепочка углеродов отталкивается от воды. Вместе с тем эти длинные молекулы жирных спиртов притягиваются друг к другу, и, таким образом, образуют на поверхности воды частокол из почти вертикально расположенных цепочек углерода с прочно удерживаемым водою гидроксидом. Образуется пленка, тончайший ковер на поверхности воды, толщиной всего—навсего в миллионные доли миллиметра, и эта пленка с давлением около 40 дин/см, этот молекулярный частокол, способен эффективно удерживать обычно вырывающиеся с водной поверхности молекулы воды, приводящие к испарению.

Пленка в ее ненарушенном совершенном состоянии способна удерживать до 90—95% всех стремящихся к испарению объемов воды.

Эти свойства жирных спиртов стали достоянием мировой науки только с 1925 года, причем в период 1930—40 гг. существенные исследования проведены советскими учеными. В статьях автора [169]—[171] даны результаты зарубежного и советского опыта: к этим статьям приложена библиография [1]—[148]. В настоящей статье библиография и ее нумерация продолжена и охватывает еще 24 названия, №№ 149—172). Только с 1952 года перешли от научных исследований, чисто лабораторного физико-химического характера, к исследованиям под открытым небом в целях реального использования чудесных свойств жир-

ной спиртовой пленки для практических целей, для борьбы с испарением с водоемов (Мансфильд, Австралия).

Жирные спирты могут быть получены из животных жиров (кашалотовый жир) или из растительных масел (пальмовое масло, сурепное, рапсовое масло), а также синтетически из нефтепродуктов, как вторичные спирты из разветвленных парафиновых углеводородов нефти (жидкие парафины), как отход производства твердого парафина. Это так называемые жирные спирты из вторых неомыляемых, которые у нас изготавливаются четырьмя действующими заводами.

Зарубежный опыт с гекса- и октодеканолями [163, 169—171] дал прекрасный результат. При всех положительных свойствах по борьбе с испарением, образуемая этими спиртами пленка прозрачна, пропускает кислород и углекислоту и солнечные лучи, безвредна, не имеет запаха и не только не вредна для растений и любых живых организмов, но даже может служить для их питания, что отрицательно скажется на расходе химиката; необходимы некоторые химические добавки для борьбы с таким расходом пленки на питание акваторической фауны.

Все эти свойства подробно изучены за рубежом и получили официальное признание органов здравоохранения [107, 122, 125, 140, 147, 148, 163, 167, 169—172].

В условиях СССР получение жирных спиртов из кашалотового жира или пальмового масла не является перспективным, так как связано с импортом. Поэтому особое значение приобретают отмеченные выше спирты из вторых неомыляемых, которые по своим показателям приближаются к гекса и октодеканолям (см. ниже § 5), и экономика которых является для СССР вполне перспективной (§ 6). Отрицательным отличием спиртов из вторых неомыляемых является некоторый запах, который возможно удастся преодолеть. В Австралии и Африке для лучшей технологии диспергирования химиката на водной поверхности и для уменьшения расхода на питание фауны растворяют не имеющий запаха химикаты в керосине. США на такие меры, портящие воду на поверхности, не идут, и стремятся совершенствовать технологию подачи химиката в виде эмульсии с водой, или растворяя в этиловом спирте, что несколько удорожает химикат.

§ 4. Исследования по борьбе с испарением за рубежом. Экономика

Борьба с испарением с водоемов стала за последние 10 лет не только возможной, но и реальной, и как будет видно ниже, стала и рентабельной.

Расход цетилового спирта составляет в среднем за 5 летне-осенних месяцев с наибольшим испарением, около 3 т. на 1 кв. км лодной поверхности. Разумеется, этот средний расход, в зависимости от отмеченных выше температурных и ветровых условий, подвержен

значительным колебаниям и зависит и от абсолютной величины испарения (тем меньше, чем больше абсолютная величина испарения [169—171]).

При стоимости качественной цетиловой смеси гекса- и октодеканоя в 600 долларов за тонну, расход составляет 1800 долларов на кв. км водной поверхности. По отчету исследований Бюро Мелиораций США на озере Хефнер в 1958 г. [144] эта стоимость химикалия составила 1150 долларов за тонну с отмеченной в отчете перспективой снижения стоимости вдвое.

Исключительно тяжелые метеорологические условия и неудачная эксплуатация оборудования, которое создавало и поддерживало защитную пленку на озере Хефнер, привело к тому, что покрытие озера пленкой в среднем за 115 дней составило только 10% поверхности озера. Несмотря на это стоимость воды съэкономленной благодаря одномолекулярной пленке, составила только 3,7 цента по стоимости химикалия и 1,4 цента по эксплуатационным расходам, на 1 куб. м воды. Всего 5,1 цента при стоимости продукта в 115 центов за килограмм. Такова стоимость при 10%-ном результирующем покрытии пленкой поверхности озер [144]. Следовательно, в этих тяжелых ветровых и температурных условиях, при стоимости химикалия в 600 долларов за тонну, один кубический метр спасенной воды обошелся бы в 3,25 цента.

Исследования на озерах Ретлсбек (0,1 кв. км), Ралстон (6,0 кв. км), Каргер (4 кв. км), Сахуаро (4 кв. км), Хефнер (10 кв. км) и на водохранилище Мид (160 кв. км) показали [161, 171], что даже при неблагоприятных метеорологических условиях и неудачной эксплуатации пленки, большие водные пространства являются положительным фактором и создают более благоприятные условия, чем средние и малые водоемы. Так, опыты на водохранилище Мид дали особо благоприятный результат. Приведем некоторые новые данные. В докладе 86-ой сессии Конгресса США [167] по вопросу о борьбе с испарением отмечается, что составлены расчеты экономии испарений и стоимости для 10 западных районов США с водоемами от 2 до 200 кв. км для 1960—1980 гг., исходя из борьбы с испарением в течение 4—6 месяцев в году. Потери на испарение только для этих 10-ти районов исчислены в 5,65 млрд. куб. м в год. Планируется экономия испарений в 1960 г.—1,22 и в 1980 г.—2,35 млрд. куб. м при стоимости 1 куб. м воды соответственно 3,65 цента и 0,825 цента. Следовательно, предлагается планировать только для 10 западных районов США расход на борьбу с испарением в 44,5 млн. долларов в 1960 году и 19,7 млн. в 1980 г. Современные (1960) цены на воду для коммунальных нужд колеблются в США в пределах от 0,4 до 6,25 центов за куб. м воды. В этом же докладе Конгрессу отмечается, что после исследований 1958 г. на озере Хефнер уже созданы новые, более дешевые промышленные химикалии—смеси, которые эффективнее предыдущих. Отмечается, что можно специализировать смеси

цетиловых спиртов применительно к температурным условиям данного водоема.

Английская фирма химических продуктов Price Limited [168] провела в 1957 и 1958 гг. опыты в Испании на Рио-Тинто и получила экономию испарения в 20 и 30%, при стоимости 1 куб. м экономии воды около 3 и 1,7 английских пенса. Были также проведены опыты на Шотландском озере Лох-Лаган (10 кв. км).

Скорость движения ковров защитной пленки составила около одной тринадцатой скорости ветра. Скорость дрейфа пленки непрерывно возрастает при постоянной скорости ветра.

Английский опыт приводит к выводу, что американский метод рассеивания волной эмульсии менее эффективен, чем кристаллический порошок. Опыт Австралии приводит к наилучшим результатам при растирании кристаллических блоков твердых спиртов на проволоочной металлической щетке и сдувании такого порошка на поверхность воды с движущейся лодки. Этот метод получил апробацию и на озере Лох-Лаган.

Особо подчеркиваются преимущества подачи растворенного в керосине химикалия.

В Англии для водоемов площадью меньше 4000 кв. м уже создан промышленный тип ветрового автомата для непрерывной подачи химикалия в течение целого месяца, без обслуживания.

Новые австралийские исследования последних лет дают 50% экономии испарения при ветре до 5 миль в час. Для водохранилища Умберунберка разработана новая техника создания и поддержания пленки на больших водных поверхностях в течение 12 месяцев. Особенности этой техники не опубликованы, но экономия испарения составила 30%, что по сравнению с результатами, полученными на озере Хефнер, является большим шагом вперед.

В новой американской статье 1961 года [164] приведена схема автоматической подачи химикалия, управляемая анемометром. Дозировка концентрата суспензии регулируется при помощи электромагнитного клапана, который управляется анемометром. Приведена также практически линейная зависимость расхода химикалия от скорости ветра.

Для определения влияния периодической подачи гексадеканоловой суспензии были проведены испытания, при которых 12 часов пленка поддерживалась, а следующие 12 часов подача химикалия прекращалась. Такое периодическое существование пленки привело к уменьшению экономии испарения, которая составила только 6,5%. Такой резкий результат несколько противоречит другим исследованиям, в частности и на озере Хефнер, и нашим исследованиям на берегу озера Севан.

В 1959 и 1960 г.г. совместными усилиями Бюро Мелиораций США, потребителей воды реки Солт, Геологической службы, службы здравоохранения, были проведены исследования на водохранилищах

Сахуаро и Мид [171], [172] с целью определения условий распространения монопленки, ее дрейфа под влиянием ветра, и возможности детектирования покрытой поверхности и давления пленки.

Были сконструированы автоматические распылители, которые могли подавать расплавленный химикалий (нагрев сопла газовой горелкой) в виде тумана с размерами частиц меньше 100 микрон. На водохранилище Сахуаро в июле 1960 г. работало 8 таких распылителей. Были использованы также и сельскохозяйственные распылители. Предпочтение было отдано плавлению и распылению, так как превращение химикалия в порошок увеличивало его стоимость вдвое. Другим преимуществом была возможность обслуживания распылителей только двумя рабочими, тогда как прежние методы подачи химикалия обслуживались целыми бригадами. Автомат был устроен так, что распыление велось только при наличии ветра с берега, а подача химикалия автоматически регулировалась пропорционально скорости ветра; подача прекращалась при очень малой и очень большой скоростях ветра.

Опыты на водохранилище Мид ([172] стр. 21) показали, что смена направления ветра приводила к дрейфу пленки по спирали в течение многих часов, прежде чем преобладающее направление ветра приводило пленку к берегу. Берега водохранилища были большей частью крутые и выброс пленки на берег не приводил к ее потере. Даже при сильных ветрах временное исчезновение пленки приводило к ее последующему восстановлению после ослабления ветра. Фотографирование через поляризующие светофильтры показало, что поверхность водоема, покрытая монопленкой с неполным давлением, дает изображение как непокрытая поверхность, и граница между покрытой поверхностью с полным давлением и непокрытой поверхностью обрисовывается более четко, чем при обычном фотографировании. Установлено, что если пленка видима и удастся получить фотографию, то давление в пленке полное, оптимальное.

Опыты на водохранилище Сахуаро привели Бюро Мелиораций к выводу, что стоимость одного кубического метра спасенной от испарения воды должна составить около 3 центов, и что количество сэкономленной воды пропорционально абсолютной величине обычного испарения без пленки, что подтверждает результаты полученные автором в 1959 г.

Анализ отбора питьевой воды из водохранилища, покрытого пленкой октодеканолем, показал отсутствие следов октодеканоля; если следы имеются в питьевой воде, то их концентрация меньше 10 частей на миллиард частей воды ([172], стр. 18)

§ 5. Исследования в СССР по борьбе с испарением

В 1957 и 1958 гг. в результате командировки за границу автор получил возможность обосновать для Академии наук Армянской ССР необходимость изучения и исследования защитного действия мономо-

лекулярной пленки применительно к борьбе с испарением на озере Севан, среднее годовое испарение которого составляет 1,2 млрд. куб. м. Каждый кубический метр сэкономленной воды может быть использован для орошения, для получения сельскохозяйственной продукции и для получения многолетне регулирующей энергии на уже существующем Севанском каскаде из шести гидростанций.

В 1958 году вопрос об экономической, рентабельной возможности применения одномолекулярной пленки жирных спиртов был ясен для малых водоемов-прудов, но для больших водоемов оставался еще открытым, еще не было произведено исследований на больших водоемах в неблагоприятных метеорологических условиях. Только в 1960 году по инициативе автора Институтом водных проблем (ИВП) Армянской Академии наук (под руководством директора проф. А.К. Ананиян) были начаты исследования одномолекулярной пленки на испарителях Арданишской озерной экспериментальной базы Института, расположенной на берегу озера Севан [165, 170]. По инициативе автора ИВП оборудовал в том же 1960 г. в Норкской открытой лаборатории большой волновой и ветровой бассейн для исследований сдувания пленки ветром.

В 1960 году по инициативе Советского Комитета международной комиссии по ирригации и дренажу при Министерстве сельского хозяйства и ВАСХНИЛа, Всесоюзным Институтом гидротехники и мелiorации (Макарова) были начаты лабораторные исследования по цетиловым спиртам в лабораториях Института органической химии (под руководством члена-корр. АН СССР проф. А. Д. Петрова) и Института физической химии АН СССР (под руководством проф. А. А. Трапезникова), а также на Валдайской опытной базе Государственного гидрологического института (В. И. Кузнецов).

Исследования на Валдайской базе [160] проводились летом 1960 г. на открытых испарителях с тремя импортными жирными спиртами, спиртом из стеарина, из кашалотового жира, спиртом из вторых неомыляемых, получаемых окислением парафина на наших советских заводах, и из хлопкового масла, а затем осенью того же года эти же химикаты исследовались ИВП в Арданише на берегу озера Севан [165]. Все исследования продолжались и в 1961 г.

В 1961 году ИВП вел интенсивные исследования в трех направлениях. Продолжались исследования на испарителях на берегу озера Севан (Мхитарян), на реликтовом озерке (0,4 кв. км) там же на берегу озера (Жамагорцян) и на ветровом и волновом бассейне в Норке (Бек-Мармарчев). Таким образом, осуществлена совместная работа нескольких секторов ИВП.

В сравнительных опытах 1960 г. на испарителях Валдая и Арданиша наилучший результат получен со спиртами из кашалотового жира (до 62% экономии испарения); импортный цетиловый спирт дал 47 и 26% экономии; жирные спирты из вторых неомыляемых дали около 30%; остальные спирты дали значительно меньше экономии.

Исследование ИВП 1961 года подтвердили эти результаты; к таким же результатам на испарителях, расположенных на берегу Кенгирского озера, несколько позже пришла и Академия наук Казахской ССР.

В 1961 г. ИВП проведены также большие исследования на реликтовом озерке отпиуровавшемся от озера Севан при его опускании, в довольно бурных тяжелых метеорологических ветровых условиях, при длительном ветре одного направления поперек озерка по малой его оси. Для компенсации фильтрации из озерка в озеро Севан, была оборудована специальная насосная станция, которая качала воду из озера Севан в озерко, и для исследования фильтрационных потоков озерко было окружено 12 специальными мерными грунтовыми колодцами.

Определение испарения проводилось как методом испарителей, причем кроме отмеченных выше береговых испарителей, использован и особый пловучий испаритель на озерке, так и методом водного баланса (определялась сумма испаряемой и фильтрующейся воды). Заканчиваются подсчеты также и по методу турбулентной диффузии и по методу теплового баланса.

Вопросы водного баланса и возможность выделения его компонента испарения требуют достаточно точного определения фильтрации из опытного реликтового озерка. Для этого в зимний период 1961—1962 гг., когда озерко было покрыто льдом и когда испарение с поверхности воды почти отсутствует, произведены измерения снижения горизонта, которое определяется только фильтрацией. Таким образом, определяются все компоненты водного баланса.

Сравнительные опыты по применению пленок, создаваемых гексадеканолом и спиртами из вторых неомыляемых, производившиеся на испарителях, установленных на плоту в озерке, показали, что эффект от пленок сохранился в течение первых 10 суток и привел к экономии испарений для обоих химикатов около 50%. На самом Арданишском озерке пленка создавалась путем подачи советских спиртов с помощью лейки с моторной лодки по ежедневной норме 0,04 г на кв. м поверхности, в течение 19 суток. За первые 10 суток, при больших скоростях ветра, от 3 до 6 м/сек. сокращение испарения составило около 15%. Низкий процент объясняется сильным ветром на озерке с сдуванием пленки на берег. Сдвигания ветром особенно неблагоприятны для малых и средних водоемов (в данном случае 0,4 кв. км) и значительно более благоприятны для таких больших водоемов как озеро Севан. Скорость перемещения (дрейфа) пленки ветром оказалась примерно в 20 раз меньше скорости ветра. Такое же соотношение скорости получилось и для самого озера Севан по наблюдениям за небольшим ковром монопленки, созданном на озере около Арданиша.

Данные наблюдений по скорости и направлениям ветра и по длительности действия этих факторов над озером Севан показывают,

что монопленка, созданная на части озера с учетом направления ветра, не достигает противоположного берега за время его действия в одном направлении.

Для монопленки на озере Севан наибольшее значение имеют постоянно дующие бризы, теоретическим изучением которых и их суточным ходом также занялся ИВП. Бриз дует обычно по нормали к берегу, днем с озера, а ночью с берега. В течение 6—8 часов бриз не меняет своего направления, изменяется только скорость ветра. При средней скорости ветра около 5 м/сек скорость дрейфа пленки составит около 0,25 м/сек, что за 6 часов приведет к перемещению монопленки на 5,4 км, т. е. на одну пятую ширины озера; следовательно, можно будет избежать выбрасывания пленки ветром на берег и рассчитывать для озера Севан на значительно лучшее покрытие поверхности озера пленкой, чем на озере Хефнер.

На положительное влияние больших водных пространств указывают и новые исследования в Австралии [166].

Для озера Севан метеорологические условия значительно более благоприятные, чем для озера Хефнер. Средне-месячная скорость ветра колеблется в пределах 2,9 — 4,0 м/сек, т. е. вдвое меньше, очень редко достигая предельного значения — около 10 м/сек, при котором пленка разрушается и перемещивается. Температура воды озера Севан колеблется в пределах 13—18°, тогда как на озере Хефнер — в пределах 25—28°. Снижение температуры увеличивает экономию испарения.

Вышесказанное приводит к заключению, что, считая по американским ценам (соображения о стоимости в наших ценах см. ниже в § 6), один кубический метр экономии воды для наших больших озер и водохранилищ, должен стоить заметно меньше 3,25 цента, что подтверждается и запланированными в США цифрами (см. § 4).

В том же 1961 году ИВП проведены опыты на Норкском ветро-аэро и волновом бассейне, длиной 50 м, шириной 13 м и высотой стенок 1,4 м, площадью 500 кв. м, снабженном волнопродуктором с переменной частотой колебаний, а также, что самое существенное, снабженном аэродинамическим двойным устройством с двумя центробежными вентиляторами, производительностью по 40000 куб. м воздуха в час, с электромоторами по 20 квт, для моделирования ветра. Эта установка позволяет создавать волны высотой до 25 см и скорости ветра до 10 м/сек. Предусмотрена возможность стереофото съемок, киносъемок и фотосъемок с высоты в 4,5 м. Скорости искусственного ветра измерялись и регистрировались специально протарированной трубкой Пито у самой водной поверхности, вертушками, а также контактными анемометрами.

В результате ежедневной (7 дней) подачи советских спиртов из вторых неомыляемых по норме 0,02 г на кв. м, при отсутствии ветра, экономия испарения составила 48%.

Распространение пленки на поверхности воды, в результате подачи подогретой эмульсии жидких спиртов в воду, происходило очень

энергично, что детектировалось древесными опилками, которыми предварительно покрывалась вода. Начальная скорость распространения пленки из вторых неомыляемых была 2 м в минуту, конечная—около 1 м в минуту, причем пленка увлекала перед собой все плавающие тела.

Ввиду невозможности пользования при волнениях динамером, величина давления в пленке измерялась индикатором, додециловым спиртом с вазелиновым маслом, изготовленным и протарированным в лаборатории проф. Трапезникова. Некоторым дефектом было то, что предел тарировки составил 29 дин/см, тогда как необходимо было иметь возможность измерять давление до 50 дин. Оптимальное значение давления в пленке составляет обычно 40 дин. Для исследований 1962 г. проф. Трапезниковым уже изготовлены индикаторы, дающие возможность измерять давление в требуемых пределах. К сожалению, не было сделано попытки использования для определения давления в пленке метода измерения поверхности температуры воды термисторами [15].

Разумеется, необходимо принять все меры к разработке методики и аппаратуры не только для измерения давления в пленке, но и для дистанционного измерения этого давления.

Вопрос о возможности хорошего детектирования монопленки до сих пор полностью не разрешен ни за рубежом, ни у нас и является слабым местом. Поэтому и оконтуривание и выделение части поверхности водоемов, покрытой пленкой, и определение этого покрытия в зависимости от скорости и направления ветра встретило затруднение и должно явиться одним из основных моментов исследований 1962 года. В разработке методики детектирования пленки в 1962 году принимает участие и Институт органической химии АН Армянской ССР.

Как данные исследований в СССР, так и новые данные исследований за рубежом указывают на необходимость перехода к испытаниям в натурных условиях, не только на берегу больших водоемов, но к исследованиям на самых больших водоемах в условиях ветрового дрейфа монопленки, с четким определением степени покрытия водоема в зависимости от метеорологических условий.

В зарубежной литературе нет сведений о результатах с такими химикатами как спирты из вторых неомыляемых и не отмечаются волновые и ветровые экспериментальные исследования на опытных резервуарах. По-видимому наша установка в ИВП в Норке является первой.

Институт должен в ближайшее время усилить теоретические исследования по вопросам определения теплового режима малых и больших водоемов при наличии монопленки, влияние ветра и волнения на устойчивость и прочность пленки; в натуре необходимо определить зависимость условий дрейфа пленки от скорости и направления ветра, зависимость расхода химиката от ветра и температуры, исследования по обеспечению дистанционного детектирования пленки

и автоматизации подачи пленки для обеспечения рациональной степени покрытия.

Необходимо подчеркнуть, что развитие теоретических исследований по гидротермодинамике в ИВП должно быть связано с разрешением проблемы борьбы с испарением. Нужно принять все меры к автоматизации процесса подачи химиката и поддержания монопленки для уменьшения эксплуатационных расходов, которые составляют около половины стоимости химиката.

В 1961 году ИВП (Ереван) привлек к исследованиям Севанскую гидробиологическую станцию Академии наук Армянской ССР (директор А. Г. Маркосян) для исследования биологического влияния одномолекулярной пленки на флору и фауну реликтового озера. После покрытия водоема монопленкой повторные исследования не выявили отрицательного влияния пленки на водные организмы озера, на цветковую растительность, на фито- и зоопланктон (до 9 г на куб. м), на огромное количество серобактерий—спирохет, на рыбы, оставшиеся в озере от озера Севан—храмули и сига.

Наблюдения за вылетом и размножением тензидов (массовый компонент Севанской бентофауны и основная кормовая база Севанских рыб) были проведены в лотках Севанского рыбоводного завода. Наблюдения за питанием форелей Севана—гехаркуни и боджака в условиях наличия жирной одномолекулярной пленки должны продолжаться в 1962 году.

Экспериментальные исследования показали, что цетиловый спирт из вторых неомыляемых в количестве 0,1 г на кв. м поверхности стимулирует развитие бактерий; аналогичные результаты получены в американских и английских исследованиях для гекса и для октодеканоля. Севанская гидробиологическая станция считает, что полное истребление однократно созданной пленки из советских спиртов бактериями осуществляется за две недели. В 1962 году будут проведены исследования влияния спиртов из вторых неомыляемых на развитие икры и молоди форелей на Севанском рыбоводном заводе.

Возможно, что использование монопленки жирных спиртов фауной озера приведет к такому развитию этой фауны, а как следствие и особо ценного рыбного населения озера (форель—ишхан), что увеличение веса улова рыбы окажется экономически компенсирующим нежелательный расход химиката*.

Таким образом, к решению проблемы по борьбе с испарением привлечены по АН Армянской ССР: ИВП, являющийся ведущим, Севанская гидробиологическая станция и Институт органической химии, по АН СССР—Институты органической и физической химии, по ГУГМС—Государственный Гидрологический институт и по Министерству сельского хозяйства и ВАСХНИЛу—Всесоюзный Институт гид-

* Такая мысль была высказана при обсуждении президентом АН Армянской ССР академиком В. А. Амбарцумяном.

ротехники и мелиорации; поддерживается связь и с Академией наук Казахской ССР, которая начала свои опыты на берегу Кенгирского водохранилища.

§ 6. Предположения по экономике борьбы с испарением в СССР

По докладу члена-корреспондента АН СССР проф. А. Д. Петрова (Институт органической химии АН СССР), сделанному 6 апреля 1961 г. в Ереване и 17 апреля в Москве (ВНИИГиМ), стоимость импортного гекса и октодеканоля в условиях СССР нужно оценивать в 4 рубля* за килограмм, цетиловый спирт из кашалотового жира в 1,7 рубля; из сурепного масла—1,4 из вторых неомыляемых в 75 копеек, при промышленном производстве.

Отпущенные в 1962 году Институту водных проблем АН Арм. ССР две тонны спиртов из вторых неомыляемых оплачены по цене 50 копеек за килограмм (стоимость тары 7 коп.); в 1961 году эти же спирты в количестве 1 тонны были получены по цене в 1 р. 88 к. за кг., т. е. в 3,5 раза дороже.

В СССР имеется уже 4 завода окисляющих парафин на жирные кислоты и далее на жирные спирты по старой прерывной технологии и строятся еще 4 завода. Каждый из этих заводов будет выпускать по 1000 т жирных спиртов из вторых неомыляемых. Следовательно, пока что обеспечено 8000 т.

Но конкурентом—потребителем на этот продукт являются стирочные порошки (типа „Новость“) и конкурентом более платежеспособным, чем потребитель, борющийся за уменьшение испарения.

Если исходить из стоимости парафина в 40 руб. за тонну, то стоимость жирных спиртов не должна превысить 100 руб., т. е. 10 копеек за килограмм.

В наших условиях, разумеется, не может быть речи об отпуске химического продукта не по ценам себестоимости, а по ценам, которые может выдержать другой потребитель того же продукта (мыльные порошки). Подходя с плановой, общегосударственной точки зрения, у нас стоимость электрической энергии для электро-химических заводов (так называемых энергоемких производств) снижена до 0,2 коп. за киловатт-час, тогда как с других потребителей электрической энергии взимается оплата во много раз более высокая. В такое же положение должна быть поставлена борьба с испарением, борьба за дополнительные водные ресурсы, для всех целей и в особенности для сельского хозяйства.

Поэтому вопросу определения стоимости жирных спиртов и определения количеств их промышленного выпуска должно быть уделено большое внимание со стороны правительственных органов, руководящих химической промышленностью. Необходимо также опреде-

* Все стоимости в ценах 1961 г.

ление перспективы дальнейшего снижения стоимости, химикалия по мере увеличения потребности на жирные спирты.

З а к л ю ч е н и е

Государственный комитет Совета Министров СССР по координации научно-исследовательских работ включил проблему борьбы с испарением с водосемов с использованием монопленки жирных спиртов в число важнейших проблем по Союзу ССР на ближайшие годы.

Успешное и интенсивное развитие исследований за прошедшие два года вселяет уверенность в том, что Институт водных проблем АН Армянской ССР сумеет успешно и быстро провести дальнейшие исследования по этой проблеме применительно к озеру Севан и другим водоемам Армянской ССР.

Ի. Վ. ԵՂՈՋԱՐՅԱՆ:

ՋՐԱՅԻՆ ՌԵՍՈՒՐՍՆԵՐԸ ԵՎ ՊԱՅՔԱՐԸ ՄԱՆՐ ՈՒ ԽՈՇՈՐ ՋՐԱՄՐԱՊՆԵՐԻՑ ՋՐԻ ԴՈՂՐՇԽԱՅՈՒՄԱՆ ԴԵՐ*

Ա. մ փ ո փ ո ռ ի մ

Հոդվածի § 1-ում քննարկվում է բնակչության տվյալներ, արդյունաբերության և ոռոգման զարգացման, ինչպես նաև հիդրո և ջերմաէլեկտրակայանների հոգմից ջրի ծախսման հետ կապված տվելի ու ավելի մեծ ուսումնական առաջող ջրային ռեսուրսների անբնական աճող գեոֆիզիկի հարցը ներշնչում են ոռոգման համար օդադրամիդ, արդյունաբերական միացությունների կեղտոտվող և ջրամբարներից դուրսիցող ջրի մեծ հորստները:

§ 2-ում արվում է ՍՍՄԽ հարավային ջրամբարների մակերևույթի մեծության անալիզը և որոշվում են դուրսիցողումից առաջացող կորուստները (չհաշված դուրսիցողումը ծովերի մակերևույթի): Եզվում է, որ Սևանա լճի մակերևույթից դուրսիցող ջրի միայն 20%-ի տեսեման գնալով կիրկնապատիվի նրա քնական հոսքը չբաղղան գետի մեջ:

§ 3-ում ցույց է արվում դուրսիցողման դեմ պայքարի հնարավորությունը ջրի մակերևույթի ցեֆիլային սպիրտներից միայն մեկ մոլեկուլի հատուկությամբ նարպտ փառի ստեղծման միջոցով (սե՛ս ս ժՍՍԻ Դ-ԻՆ Տեղեկագրիչ տեխն զիտ, սերիայի 1960 թ. № 3 և 5 և 1961 թ. № 2-ում տպագրված հեղինակի հոդվածները՝ հալերեն ամփոփումներով):

§ 4-ում նոր տվյալներ են տրվում արտասահմանում դուրսիցողման դեմ պայքարի ուղղությամբ տարվող հետազոտությունների վերաբերյալ, որոնք չեն հրատարակվել հեղինակի նախորդ հոդվածներում, և նշվում է խոշոր ջրամբարների՝ լճերի և ջրավազանների վրա հետազոտությունների անցկացու-

* ՆՍՍԻ ԳՍ. 1962 թ. մարտի 23-ի Ընդհանուր մոդովում արտասահման ճառից:

մը: Բերվում են սովալներ գոլորշիացման դեմ արտառահմանում տարվող պալքարի էկոնոմիկայի վերաբերյալ:

§ 5-ում բերվում են սովալներ գոլորշիացման դեմ պալքարի ուղղությամբ ՍՍՄ-ում տարվող հետազոտությունների վերաբերյալ, հատկապես 1960 թվականից Հայկական ՍՍՄ-ի Զրախն սրբորշմաների ինստիտուտի կողմից Նորքի բաց լարորատորիայի ալիքալին և քամու մեծ ջրամբարի և Սեվանա լճի ափին. Արդանիշ տեղանքում բացթիվա գոլորշիացուցիչների ու Սեվանից՝ նրա մակերևույթի իջեցման ժամանակ անջատված 0,4 քառ. կիլոմետր տարածությունում մնացուկալին լճակի վրա հեղինակի նախածեռնությունում տարվող հետազոտությունների վերաբերյալ:

§ 6-ում քննարկվում է պարաֆինից սինթեզվող չլուծվող ճարպոտ սովետական սպիրտների սպաագործմամբ գոլորշիացման դեմ ՍՍՄ-ում տարվող պալքարի էկոնոմիկայի հարցը: Գիմիական ալգ նյութի մեկ կիլոգրամի ալժմյան արժեքը 50 կոպեկ է (նոր դրամով), մասնալական արտադրության գեալքում ալն պետք է իջնի մինչև 10 կոպեկ: Այս դեպքում մեկ քառակուսի կիլոմետր ջրի մակերեսի վրա ամռան և աշնան 5 ամսյա առավել գոլորշիացման ժամանակաշրջանում կատարվող ծախսեր կհաղմի 300 ռուբլի 1962 թ. պետք է փորձեր սկսվեն հենց Սեանա լճի մակերեսի մի փոքր մասի վրա:

Հոգովածի վերջում ի շարունակություն նախորդ հոգովածներում հրատարակված դրականություն (148 անուն), տրվում է 24 անունից բաղկացած լրացուցիչ գրականության ցանկ (ԱՄ 149—172):

I. W. EGIAZAROFF,

Member of the Armenian Academy of Sciences and corresponding member
of the French (Toulouse) Academy of Sciences

WATER RESOURCES AND THE REDUCTION OF EVAPORATION FROM SMALL AND GREAT RESERVOIRS AND LAKES*

The § 1 of the paper is examining the continually growing deficiency of water resources and the catastrophically growing use of water by the population, industry and irrigation, and the growing capacity of electrical stations.

Great irrigation water losses are emphasized and great losses due to evaporation from water surfaces. Great water contamination is greatly hindering the water use of rivers.

In § 2 an analysis of the magnitude of water surfaces of lakes and reservoirs of the southern territory of USSR, is given, which shows that about 200 cubic kilometers of water is lost by evaporation. Particularly for the lake Sevan in Armenia (1400 square kilometers) an economy of 20% of water evaporated will give a 100 percent increase of water flow in the river Razdan (Zanga).

* Allocation on the General Annual Meeting of the Armenian Academy of Sciences.

In § 3 a brief summary of the cetyl alcohol monolayers ability of hindering water evaporation loss is given. See also authors publications in the same Review 1960 № 3 and 6 and 1961 № 2.

§ 4 gives new information of research results abroad not published in authors previous papers and the transition to the use of the monolayer on great water surfaces (lake Hefner, reservoir Mead in USA) is emphasized.

In § 5 are briefly outlined the results of evaporation reduction research in USSR and especially in Armenia, where by the authors initiation such research is started in 1960 in the open hydraulic laboratory, of the Institute of Water Problems, formerly Water Power Institute organized in Armenia by the author in 1944.

Investigations are accomplished on a great wave and wind reproducing reservoir, and on the shores of lake Sevan on open evaporators and on a small salt lake left by lake Sevan the level of which is lowered.

The biological effects of the monolayer cetyl alcohol film on the very valuable fish of the lake Sevan (trout-forel) and on the fish food fauna is also investigated.

In § 6 the economical conditions of evaporation reduction in USSR are analyzed, when synthetic cetyl alcohols from paraffine at a cost of 0.5 roubles now and 0.1 in the future for a kilogram will be available.

In 1962 research on a part of the great lake Sevan must be started.

At the end of the paper a bibliography (№ 149—172) additional to the formerly given (№№ 1—148) is published.

Л И Т Е Р А Т У Р А

Библиографический список статей и отчетов по рассмотренному в статье вопросу, является продолжением библиографии, опубликованной в статьях автора в „Известиях АН Армянской ССР“ 1960, № 3 и 6, и поэтому здесь этот список начинается с № 149.

149. *Dorraster R.* General linearized theory of the effect of surface films on water ripples. Part I and II. Kon. Ned. Akad. Wetén. Ser. B. V. 54, 1951.
150. *Harbeck G. E.* Evaporation suppression in laboratory and field 7-th Hydr. Conf. Iowa, 1958.
151. *Roberts.* Reducing lake evaporation in the midwest. Journal of Geophys. Research, Oct., 1959.
152. *Zanker K.* Verminderung der Verdunstungsverluste. Wasser und Boden. Hamburg. 1961, № 1.
- 152a. *Stewart.* Phase relationships and spreading of cetyl alcohols. Australian Journ. of Appl. Sc. March 1960, vol. 11, № 1.
153. *Vines.* Reducing evaporation with cetyl alcohol films. To me.
154. *Hellström B. and Janson M. E.* Evaporation from water surfaces coated with film. Kungl. Tekniska Högskolans handlingar, № 146, 1959.
155. *Tisdall A. N.* Chemical control of evaporation in Australia. Journal of Soil and Water Conservation, Jan. 1959.

156. *Petrou A. D.* Propriétés tensio-actives des sulfonates. Parfumerie, Cosmétique Savons, 1959, Février.
157. *Петров А. Д.* Синтез и свойства парадизилбензолов. Известия АН СССР. ОХН, 1960, № 4.
158. *Петров А. Д.* Синтез разветвленных кислот. Журнал общей химии, 1960, том XXX.
159. *Петров А. Д.* Синтез и свойства солей кислот и сульфозэфиров спиртов. Журнал общей химии, 1960, том XXX.
160. *Макарова В. С.* Применение мономолекулярных пленок. Журнал гидротехники и мелиорации, 1960, № 11.
161. *Timblin L. O., Florey Q. L., Garstka W. U.* Laboratory and field reservoir evaporation reduction performed by U. S. B. of Reclamation. Symposium on Monolayers. Am. Chemical Soc. September, 1960.
162. *Окуда, Хаями.* Экспериментальные исследования испарений с взволнованной водной поверхности. Рефер. журнал "Геофизика". 1960, № 90831—2420.
163. *Noon R. C.* World-wide survey on prevention of evaporation loss. Intern. Commission on Irrigation and Drainage, 1960.
164. *Кроу Ф. Р.* Уменьшение испарения водоемов. Журнал сельскохозяйственной техника, 1961 г. Am. Society of Agriculture. Перевод из журнала American Society of Agricultural, 1961, Vol. 42.
165. *Макарова В. С. и Мхитарян А. М.* Опыты по применению мономолекулярных пленок для сокращения испарения, на берегу озера Сенаи. Известия ОТИ АН Армянской ССР, 1961 г., № 3.
166. *Mansfield.* The influence of monomolecular film on evaporation from reservoirs. Australian Journal of Applied Sciences, 1959, vol. 10, № 1. Реферативный журнал "Геофизика", № 10, 1960, № 12532. Устойчивость пленки в зависимости от скорости ветра.
167. Evaporation reduction and seepage control. Water resources activities in the United States, 86-th Congress 2-d session. 1960 Washington. Committee print № 28.
168. Evaporation control. Further information on monolayers. Water and Water Eng-g. London, March, 1961.
169. *Егиазаров И. В.* Возможность значительной экономии водных ресурсов для народного хозяйства и мономолекулярная защитная пленка для борьбы с испарением с поверхности водоемов, озер и водохранилищ. Известия ОТИ АН Арм. ССР, 1960, № 3.
170. *Егиазаров И. В.* То же, № 6. 1960, сообщение 2.
171. *Егиазаров И. В.* То же, № 2. 1961, сообщение 3.
172. U. S. Bureau of Reclamation. 1960 evaporation reduction Studies. Chem. Eng. L. Report № S1—32. 1961.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

В. В. ПИНАДЖЯН, Г. М. КАНЕЦЯН, Р. С. АВЕТИСЯН

СТАТИЧЕСКАЯ И УСТАЛОСТНАЯ ПРОЧНОСТЬ
СТРУНОБЕТОННЫХ БАЛОК

Сообщение 2

Усталостная прочность предварительно напряженных железобетонных балок армированных высокопрочной стержневой арматурой периодического профиля изучалась в 1959—60 годах Лабораторией железобетонных мостов ЦНИИС Минтрансстроя СССР. Аналогичные исследования для струнобетонных конструкций применительно к условиям, характерным для мостостроения, проводились в весьма ограниченном масштабе. В соответствии с намеченной программой в Армянском НИИ стройматериалов и сооружений (АИСМ) с начала 1960 года были начаты экспериментально-теоретические исследования работы струнобетонных элементов под многократно повторной нагрузкой и одновременно начато строительство опытного стенда для освоения технологии производства длинномерных струнобетонных конструкций. После накопления экспериментальных данных и освоения технологии производства намечается совместно с проектными и строительными организациями республики обеспечить массовый выпуск струнобетонных элементов пролетных строений сборных мостов из тяжелого и легкого бетонов.

1. Результаты двухлетних исследований, произведенных в АИСМе, показали, что под повторной нагрузкой с числом циклов нагружения порядка двух миллионов струнобетонные балки из *тяжелого бетона*, армированные отечественной холоднокатаной высокопрочной проволокой периодического профиля, обладают удовлетворительными прочностными и деформационными характеристиками*.

В 1962 году намечается изучение таких же балок, изготовленных из бетона на природных *легких* заполнителях.

В конце 1961 года на экспериментально-производственной базе Института был построен открытый стенд длиной 118 м (рис. 1), на котором в том же году осваивалась технология производства струнобетонных балок из тяжелого бетона для сборных мостов. Конструкция опытной балки показана на рис. 2. Длина балки 14,06 м; объем — 2,6 м³; вес—6,5 тонн. Для продольного армирования балок применялась высокопрочная углеродистая проволока, периодического профи-

* См. сообщение 1 авторов в «Известиях АН Армянской ССР», т. XV, № 3, 1962.

ля диаметром 4 мм. Проволока в бухтах диаметром 150 см была получена из Харьызского сталепроволочного канатного завода.

Проволока удовлетворяла требованиям ГОСТ 8480—57 и имела

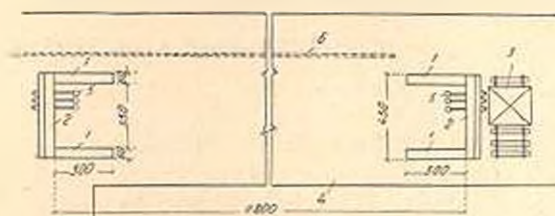


Рис. 1. Схема стенда по изготовлению струнбес-тонных элементов экспериментально-производственной базы АН СМ. 1—железобетонные упоры для восприятия горизонтального тягового усилия и 290 тонн; 2—стальная упорная балка (траверс); 3—гидродомкрат СМ—513 на рельсовом пути; 4—бетонная площадка; 5—струнодержатели; 6—паропровод.

минимальный предел прочности на разрыв, равный $\sigma_b = 161 \text{ кг/мм}^2$, модуль упругости проволоки на растяжение $E = 19400 \text{ кг/мм}^2$. Балки имели двутавровое сечение высотой 60 см с шириной полок по 60 см. Нижняя полка балок в продольном направлении армировалась 90 струнами (проволоками); верхняя полка 24 струнами. Хомуты, каркас и сетки изготавливались из обыч-

ной катанки диаметром 6 мм. На 1 балку расходовалось 262 кг стальной проволоки, в том числе высокопрочной диаметром 4 мм—160 кг и обычной диаметром 6 мм—102 кг. Натяжение проволок на стенде производилось при помощи восьми струнодержателей и гидродомкрата. Струнодержатель состоял из анкера с десятью клиновидными зажимами, тяги и анкерного захвата (рис. 3)*. В одном анкере для группового натяжения закреплялось до 30 проволок (10 пучков проволок по 3 проволоки в каждом пучке). Интенсивность натяжения проволок составляла 104 кг/мм^2 , что соответствовало 65% предела прочности проволоки на разрыв. Напряжение контролировалось по величине абсолютного удлинения проволок (при длине стенда 118 м—абсолютное удлинение проволок составляло 63 см), а также тарированным проволочным динамометром с индикатором часового типа.

Анкера с клиновидными зажимами до их использования были подвергнуты испытанию на 100-тонном гидравлическом прессе „Рейль“. Одновременно испытывалось по два анкера, с закрепленными

Таблица 1

№ анкером	Разрывающее усилие в тоннах	з напряжение в проволоках при разрыве кг/мм^2
1 и 2	61,4	163
3 и 4	58,6	155
5 и 6	59,9	157
7 и 8	58,6	155

в них 30 струнами периодического профиля. Анкера устанавливались в захватные части пресса и испытывались на разрыв. Результаты испытания приведены в табл. 1.

Во всех случаях обрыв проволок происходил у места заделки, при этом поврежде-

ний клиньев не наблюдалось. По опыту коэффициент, характеризующий одновременность работы струн в анкерах, $K = \sigma : \sigma_b = 0,97$.

* Конструкция разрабатывалась при участии аспиранта А. М. Асиряна.

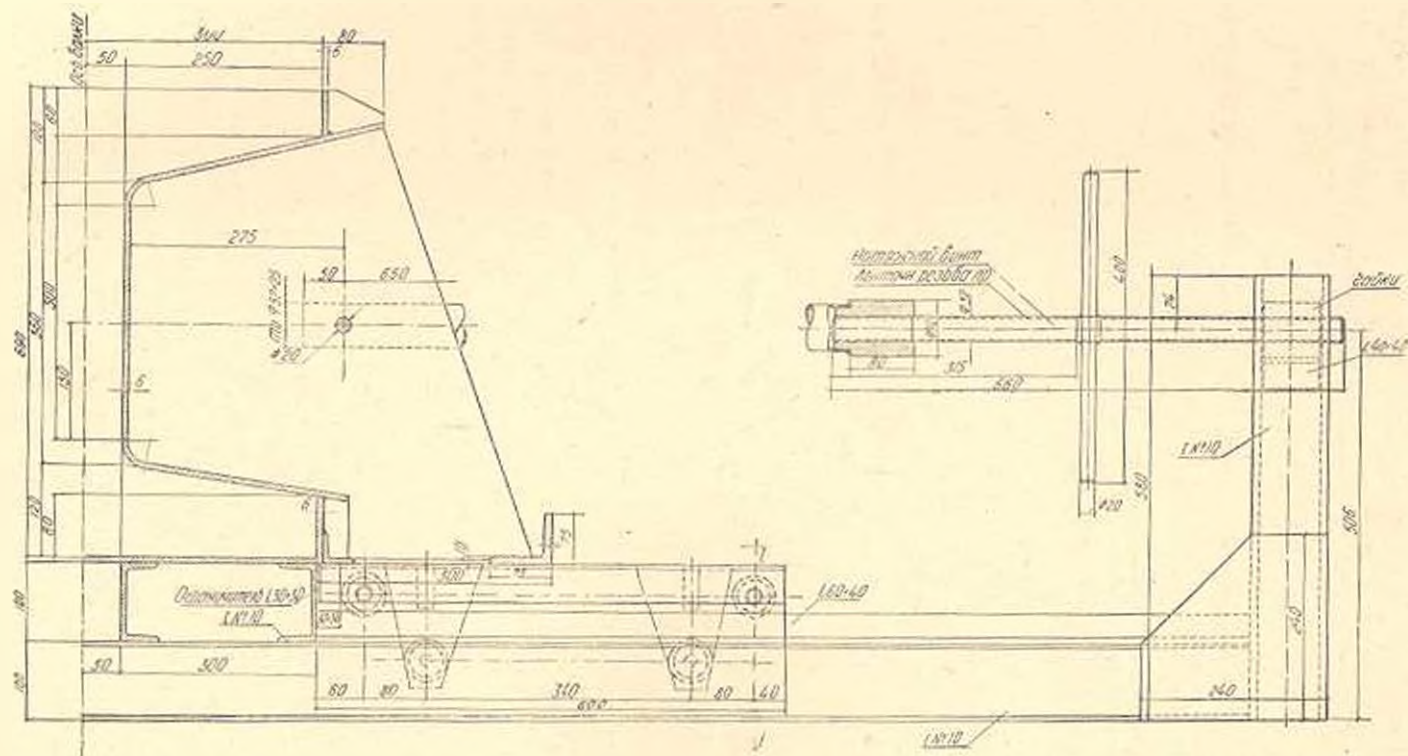


Рис. 4. Металлическая форма для изготовления струнбетонных балок.

Балки изготавливались в одну линию в металлической форме (рис. 4), поддон которой был установлен на место до раскладки и натяжения струн*. Боковые и торцовые щиты форм устанавливались после окончания натяжения струн и монтажа хомутов и сеток. Для получения тяжелого бетона марки „500“ была принята следующая дозировка компонентов:

Портландцемент Араратского завода активностью 500—350 кг;

Щебень базальтовый гранулированный с максимальным диаметром фракций 40 мм и объемным весом 1,37 т/м³

—1240 кг;

Песок речной объемным весом 1,62 т/м³

—715 кг;

Вода

—185 литр.

Водоцементное отношение смеси

—0,53.

Осадка конуса

—2—4 см.

Бетонная смесь в форме уплотнялась вибраторами типа И-16 с гибким шлангом. Применялись также тисковые вибраторы, укрепленные к боковым щитам формы.

Для ускорения твердения смеси балка после бетонирования покрывалась брезентом и пропаривалась в течение 24 часов. Стационарный режим подачи пара при температуре 70°С составлял 18 часов. После пропарки балки форма освобождалась и перемещалась в продольном направлении по стенду на 15 м. Вслед за этим приступали к укладке арматуры и бетонированию следующей балки. Отпуск натяжения арматуры с передачей напряжения на бетон производился в следующем порядке. Сначала производился отпуск натяжения проволок сжатой зоны сечения с уменьшением интенсивности напряжения проволок со 101 до 52 кг/мм². При этом наблюдался прогиб балок вниз. Затем производился последовательный отпуск натяжения струн растянутой (нижней) зоны балок. Отпуск производился ступенями на $\frac{1}{4}$ величины всего натяжения симметрично относительно вертикальной оси поперечного сечения балки. По данным нивелировки после полного отпуска натяжения струн балки выгнулись вверх. Стрела выгиба балок составляла 15—17 мм. В процессе отпуска натяжения скольжения арматуры относительно бетона у торцов балок не наблюдалось. На опорных участках всех балок на высоте около 20 см от опорных частей были отмечены горизонтальные трещины с шириной раскрытия до 0,1 мм длиной до 10—15 см. Эти трещины свидетельствовали о недостаточном поперечном армировании стенок балок у опор и необходимости установки поперечной арматуры по расчету. Общий вид струнобетонных балок, после полного отпуска натяжения и аятогенной резки проволок в промежутках между балками, показан на рис. 5.

* Рабочие чертежи металлической формы были разработаны Г. Г. Селизновым и К. Г. Филоиц в „Ереванпроекте“.

2. Испытанная струнобетонная балка в опасном сечении имела следующие характеристики (рис. 2). Площадь сечения напрягаемой продольной арматуры (проволок), расположенной в наиболее обжатой зоне бетона $F_n = 90\Phi 4 = 11,44 \text{ см}^2$; площадь сечения напрягаемой продольной арматуры в менее обжатой зоне бетона $F_n^* = 24\Phi 4 = 3,03 \text{ см}^2$; площадь приведенного поперечного сечения элемента $F_{оп} = 1620 \text{ см}^2$; статический момент приведенного сечения относительно нижней грани балки $S_{оп} = 46700 \text{ см}^3$; момент инерции приведенного сечения относительно горизонтальной оси, проходящей через центр тяжести сечения, $J_{оп} = 806000 \text{ см}^4$; расстояние от нижней грани балки до центра тяжести приведенного сечения $y_n = 28,8 \text{ см}$; расстояние от центра тя-

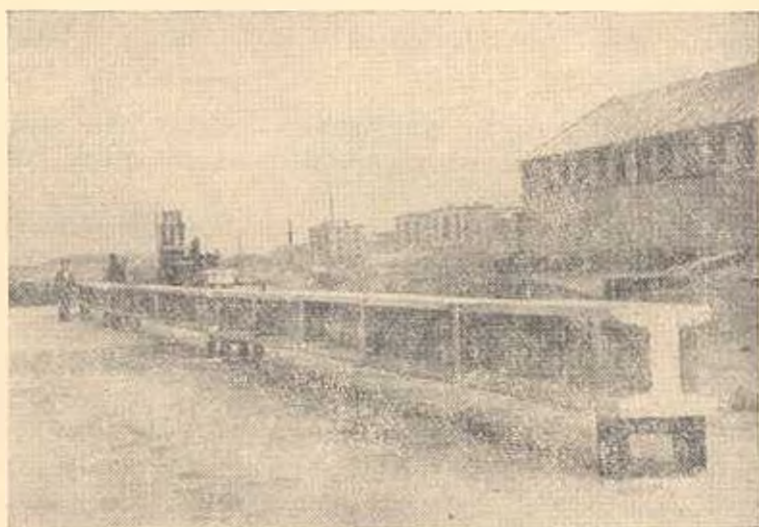


Рис. 5. Общий вид изготовленных струнобетонных балок.

жести всей продольной арматуры до нижней грани балки $y_a = 15,4 \text{ см}$. Проектная марка бетона „500“.

Расчетный разрушающий изгибающий момент для струнобетонной балки, вычисленный согласно „ВТУ на проектирование предварительно напряженных железобетонных мостов“, $M_p = 90,9 \text{ т. м}$.

Расчетный изгибающий момент трещиностойкости, при котором в струнобетонной балке появляются первые трещины:

$$M_t = 15,8 \text{ т. м.}$$

Струнобетонная балка была испытана на изгиб под статической нагрузкой на открытом испытательном стенде экспериментально-производственной базы АИСМ. Нагрузка на балку передавалась симметрично двумя 100 тонными гидравлическими домкратами, расположенными на расстоянии 5,68 м от торцов балки. Домкраты располагались между верхней полкой балки и траверсами, которые с помощью тросов были соединены с силовой плитой стенда (рис. 6). Величина нагрузки оп-

ределялась манометрами, установленными на домкратах. До и после испытания манометры с домкратами тарировались на прецизионном 100-тонном прессе „Рейли“. Нагрузка на балку увеличивалась ступенями до величины, соответствующей половине разрушающей. После выдержки под этой нагрузкой порядка 15 минут балка разгружалась. После трех циклов загрузки ступенями нагрузка была доведена до величины $M=82 \text{ т.м.}$, соответствующей 90% расчетного разрушающего изгибающего момента. По кривой „нагрузка прогибы“ было установлено, что первые трещины в балке появились при изгибающем моменте, равном $M=60-64 \text{ т.м.}$ Под нагрузкой, соответ-

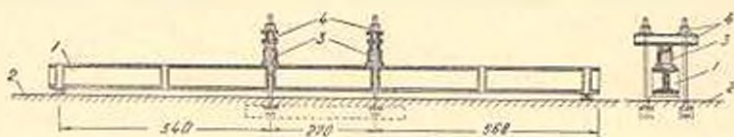


Рис. 6. Схема испытания струнотонной балки на изгиб на стенде;
1—струнотонная балка; 2—опорная плита; 3—гидродомкраты;
4—тросы с траверсами.

ствующей изгибающему моменту $M=82 \text{ т.м.}$, на поверхности балки появилось множество трещин при расстоянии между ними порядка 10 см с шириной раскрытия менее 0,1 мм. Трещины распространялись от нижней грани балки по вертикали на 20—25 см. После разгрузки балки все трещины закрылись. Стрела прогиба балки и осадка опор измерялись мессурами с точностью 0,1 мм и стальными линейками с миллиметровыми делениями. Стрела прогиба балки под нагрузкой, соответствующей половине расчетной разрушающей, была равна 18 мм; под нагрузкой, равной 0,9 расчетной разрушающей—79 мм. После разгрузки балки остаточный прогиб был равен 13 мм, 1/1040 доли пролета. В процессе испытания под нагрузкой скольжения струн относительно бетона не наблюдалось.

В заключение необходимо отметить, что на экспериментально-производственной базе АИСМ была освоена технология изготовления длиномерных струнотонных балок, армированных отечественной высокопрочной проволокой периодического профиля диаметром 4 мм. Проведенные лабораторные и натурные испытания показывают, что струнотонные балки по сравнению с балками из обычного железобетона более выносливы в отношении воздействия повторных нагрузок, более жестки и трещиностойки. Струнотонные элементы очень экономичны в отношении расхода арматуры. В связи с указанными преимуществами в республике необходимо организовать массовый выпуск струнотонных балок пролетных стропил мостов, шпал, подкрановых балок, опор линий электропередач и контактной сети, а также других элементов, работающих под многократно повторной нагрузкой. Наряду с этим необходимо усилить опытно-теоретические, проектные и экономические исследования с целью уточнения рациональ-

ной области применения струнобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов в Армянской ССР.

Армянский НИИ
строительных материалов и сооружений

Поступило 15.I.1962 г.

Վ. Վ. ՓԻՆԱԶՅԱՆ, Հ. Մ. ԿԱՆԵՅԱՆ, Բ. Ս. ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ

ԼԱՐԱՐԵՏՈՆԱՅԻՆ ՀԵԾԱՆՆԵՐԻ ՍՏԱՏԻՎԱԿԱՆ ԵՎ ՀՈԿԵԱԾԱՅԻՆ ԱՍՐՈՒԹՅՈՒՆԸ

(ՀԱՂՈՐԴՈՒՄ 2)

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Հողվածում նկարագրված է հայրենական արտադրության բարձրամուր
լարով ամրանալոված լարարետունն երկայն հեծանների ստացման տեխնո-
լոգիան: Բերված է Հալաստանի շինանյութերի և կառուցվածքների ղեկա-
հատողական ինստիտուտի փորձնական բազայում իրականացված 14 մետր
երկարությամբ ունեցող լարարետունն հեծանների կոնստրուկցիան և նրանց
ստատիկ եղանակով փորձարկման արդյունքները:

Փորձերը ցույց են տվել, որ լարարետունն հեծանները օժտված են բարձր
ճարակալունությամբ և ամրությամբ: Լարարետունն հեծանները ստվորական եր-
կաթքետունն հեծանների հետ համեմատած շատ ձեռնտու են ամրանի ծախսի
կապակցությամբ և՛ լինելով ավելի ճաքակալուն ու կոշտ՝ հաջողությամբ են
դիմադրում բազմապատիկ կրկնվող բեռնավորումներին:

Հեղինակները առաջարկում են ռեսպուբլիկայում կալմակերպել բազմա-
պատիկ կրկնվող բեռնավորումների տակ աշխատող լարարետունն շինվածքների
և կոնստրուկցիաների, աչղ թվում կամուրջալին հեծանների, էլեկտրահողորդման
ղծների հենարանների, ենթամարաձիչալին հեծանների մասսայական արտա-
դրությունը:

ИНЖЕНЕРНАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ

С. А. ПИРУЗЯН

О СЕЙСМИЧЕСКОМ МИКРОРАЙОНИРОВАНИИ НА ОСНОВЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ*

1. Сейсмическое микрорайонирование в сущности является последним этапом исследований по проблеме прогноза землетрясений по месту и силе.

Задачей сейсмического микрорайонирования является уточнение интенсивности землетрясения, принятой на карте сейсмораионирования СССР, в зависимости от характеристики грунтов, урона грунтовых вод и рельефа местности. Эту задачу автор пытается разрешить путем комплексных исследований по оценке общей сейсмоактивности района, инструментальным наблюдениям, инженерной геологии и обследования древних сооружений. Наиболее достоверным путем сейсмического микрорайонирования является накопление фактических сравнительных данных об интенсивности землетрясения в различных локальных условиях на инструментальной основе и их статистическая обработка [1].

Поскольку сейсмическое микрорайонирование осуществляется с целью дифференцированного учета сейсмического воздействия на сооружения в зависимости от инженерно-геологических условий строительной площадки**, то наиболее точными будут инструментальные наблюдения, доставляющие информацию о реакции сооружений на сейсмические воздействия и характеризующие интенсивность землетрясений с инженерной точки зрения.

Мерой интенсивности землетрясения является спектр τ (T), иначе называемый спектром приведенных сейсмических ускорений, определяемый по методу, предложенному А. Г. Назаровым [2].

Приведенное сейсмическое ускорение имеет простой физический смысл. Оно представляет по существу максимальную величину сейсмической силы, действующей на данную систему, отнесенной к единице сосредоточенной массы этой системы. Если, например, мы имеем сооружение с сосредоточенным грузом Q и с периодом свободных колебаний T (или линейный осциллятор с этими же параметрами при

* Доложено на Сессии Совета по сейсмологии при Президиуме АН СССР в Москве 4—8 апреля 1961 г. Материал статьи использован при составлении [1].

** Подразумевается комплекс грунтовых, геоморфологических и гидрогеологических условий.

заданном демпфировании), то полное значение сейсмической силы S будет:

$$S = \tau(T) \frac{Q}{g}. \quad (1)$$

Согласно СН8—57 [3] спектр $\tau(T)$ связан с коэффициентом динамичности β и коэффициентом K , соотношением

$$\tau(T) = K \beta(T). \quad (2)$$

Поэтому для характеристики силы землетрясения необходимо иметь график зависимости τ от T . Эту зависимость можно получить непосредственными инструментальными измерениями*. В настоящее время для измерения широко используются маятниковые сейсмометры АИС-2 и АИС-2М и прецизионный сейсмометр ПМС.

Сейсмометры типа АИС, регистрирующие землетрясения начиная от 4 баллов и выше, представляют собой серию упругих сферических маятников фиксирующих свои максимальные смещения относительно станины с помощью регистрирующих игл, наносящих царапины на законченном стекле. Маятники имеют периоды свободных колебаний от 0,05 до 1,2 сек. АИС-2 имеет 6 горизонтальных и 3 вертикальных маятника. В модернизированном приборе АИС-2М, сконструированном в ОКБ Института физики Земли, число горизонтальных маятников доведено до 9, в также значительно увеличена их чувствительность.

По максимальному отклоненному положению угла f определяется приведенное сейсмическое ускорение a по формуле

$$a = k f. \quad (3)$$

Затем по опытным данным определяется спектр $\tau(T)$. Значение k приводится в паспорте прибора. По полученным спектрам для различных грунтово-геоморфологических условий местности можно определить изменение интенсивности данного землетрясения в зависимости от этих условий. Понятно, что для получения устойчивых результатов необходимо располагать данными регистрации нескольких землетрясений.

Как показали предварительные лабораторные испытания модернизированного прибора ПМС**, он реагирует на землетрясения интенсивностью до одного балла. Короткопериодные маятники могут фиксировать землетрясения силой до 5—6 баллов. Прибор располагает шестью взаимозаменяемыми маятниками с периодами собственных колебаний от 0,1 до 0,6 сек. В приборе одновременно могут быть ус-

* Спектры $\tau(T)$ можно получить также с помощью интегрирования акселерограмм и сейсмограмм. В настоящее время в научно-исследовательских институтах Арм.ССР производится численное интегрирование акселерограмм и сейсмограмм с использованием счетно-вычислительных машин.

** Опытный экземпляр модернизированного образца ПМС изготовлен в ОКБ Института физики Земли. В будущем году на одном из заводов Армянского Союзхоза будет изготовлена опытная партия сейсмометров ПМС и АИС-2М.

тановлены три маятника, совершающие поляризованные колебания в горизонтальной плоскости. Прибор имеет оптическую регистрацию. Статическое увеличение прибора равно около 100 для маятника с периодом $T=0,1$ сек и около 4000 для маятника $T=0,6$ сек. На рис. 1 представлен общий вид прибора ПМС.

За последние несколько лет сейсмометрами АИС-2 зарегистри-

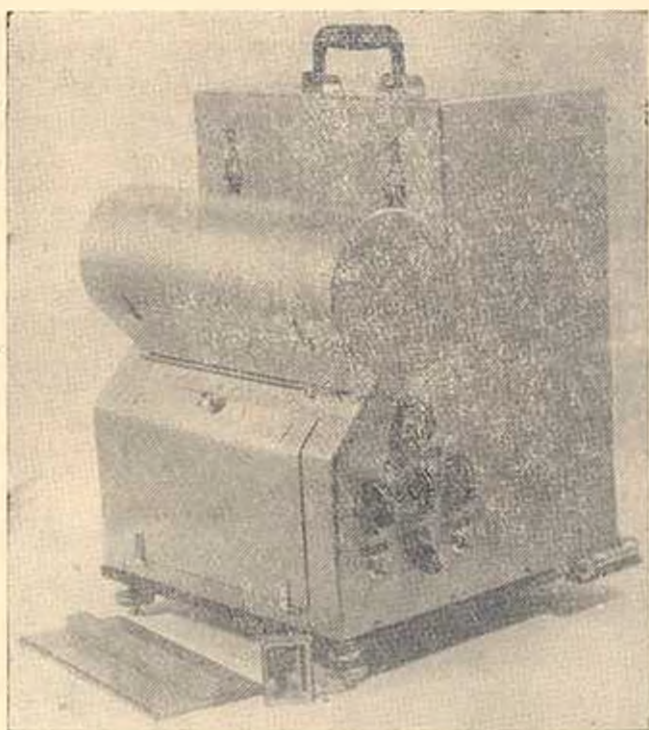


Рис. 1. Общий вид многомаянкового прецизионного сейсмометра ПМС.

ровано около двадцати землетрясений силою от 3 до 6 баллов в Душамбе, Ереване, Тбилиси [5, 6, 7, 8] и несколько массовых взрывов в районах Армении [9, 10]. Получен ценный материал о зависимости приведенных сейсмических ускорений от инженерно-геологических условий мест их установки. Некоторые из полученных закономерностей использованы при составлении Инструкции по сейсмическому микрорайонированию [11].

Анализ спектральной кривой $\pm (7)$ ереванского землетрясения 1957 года [6]* показывает, что приращение приведенных сейсмических ускорений на различных грунтах сильно зависит от периода свободных колебаний рассматриваемых маятников (рис. 2).

* Землетрясение силою около 4 баллов.

2. Автором под руководством А. Г. Назарова, для регистрации землетрясений, на территории г. Еревана в 1957—62 гг. была создана инженерно-сейсмологическая сеть, состоящая из 10 пунктов наблюдений, сооруженных в различных грунтово-геоморфологических и гидрогеологических условиях. Краткое описание грунтовых условий сейсмокамер приводится в табл. 1.

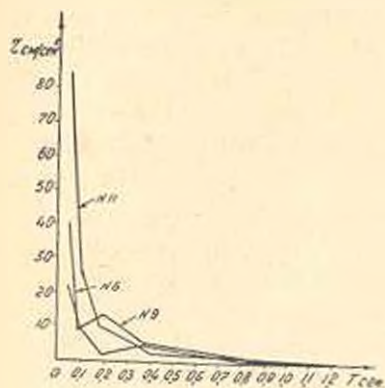


Рис. 2. Спектральная кривая приведенных сейсмических ускорений Ереванского землетрясения 14 февраля 1957 г. № 6—плиточные базальты; № 9—гравелистые грунты; 11—алювиально-пролювиальные отложения р. Гедар.

Сейсмометры АИС-2 установлены во всех 10 сейсмокамерах. Пять из них (№ 1, № 5) являются временными сейсмическими станциями (сейсмокамеры I класса). В них кроме сейсмометров имеется возможность установить сейсмографы ВЭГИК, прецизионные сейсмометры ПМС и др. В качестве надземной части сейсмических станций использованы стандартные кузова КУНГ-2М (рис. 3 и рис. 4).

Сейсмические приборы—датчики установлены в подвальном по-



Рис. 3. Внешний вид временной сейсмической станции «Вардашен».

мещении, на бетонном фундаменте. В настоящее время на этих станциях установлены сейсмографы ВЭГИК и налажена регистрация слабых землетрясений во времени.

Временная сейсмическая станция «Вардашен» является опорной. Она построена на слегка латеритизированных нижнемiocеновых плотных глинах, являющихся самыми древними породами района. Они под-

Таблица 1

Сейсмокамеры	Класс	Номера сейсмометров АИС-2	Грунтовые условия
1 „Вардашен“ в пределах одноименного поселка на юго-восточной окраине города	I	3—59	Нижнемиоценовые плотные глины слегка латеритизированные с включением медких крапленников гипса
2 „Шенганит“ на территории комбината строительных изделий	I	6—59	Дельтавиальные суглинки и глины, подстилаемые галечником
3 „Выставка“, на юго-западн. окраине Еревана, на территории Выставки достижений народного хозяйства	I	12—59	Галечник молодой террасы реки Раздан
4 Сейсмостанция „Ереван“ в северной части городской котловины .	I	14—59	Валуно-галечные пролювиальные отложения р. Гедар с суглинчато-песчаным заполнителем
5 „Ботсад“ в северной части Еревана, на территории Ботанического сада АН Армянской ССР	I	5—59	Кристаллические туфы красного цвета, песчаи крепкие
6 „Мелькомбинат“ в южной части городской котловины	II	2—59	Пролювиальные мелкообломочные отложения реки Гедар (уровень грунтовой воды 1,0 м)
7 „Чарбах“ юго-западн. окраине города в пределах одноименного поселка	II	11—59	Галечник цементированный древней террасы р. Раздан
8 „Каназ“ на северо-запад. окраине города, на тер. одноименного завода	II	6	Плиоценовые покровные базальты (долеритовые)
9 „Вокзал“ в юж. части городской котловины на тер. ж/д станции .	II	8	Супесь и сугаянка с редкими включениями плохо-окатанной гальки и гравия
10 „Школа“ в южной части городской котловины (центр) на территории школы № 38	II	8—59	Галечно-гравелистые отложения, пролювиальные с глинистым заполнителем

Величины скоростей распространения упругих волн, полученные в результате предварительной обработки данных полевых работ, сведены в табл. 2.

Таблица 2

Основание прибора	Базальт	Туф	Галечник	Суглинок плотный	Глина
Скорости см/сек	2500	875	525	510	3°0
Год исследования	1958	1961	1961	1958	1961

4. Для производства сейсмического микрорайонирования необходимо помимо общей сейсмоактивности района знать также исходную бальность территории, отнесенную к конкретным инженерно-геологическим и геоморфологическим условиям.

В [11] средними грунтовыми условиями, отвечающими баллу на карте сейсморайонирования СССР, приняты глинистые, песчаные и обломочные отложения, т. е. грунты, преобладающие на территории большинства населенных пунктов. Район г. Еревана, как и большая часть Армянского нагорья, входит в 8-ми балльную зону названной карты.

Программой работ по выполнению обсуждаемой темы предусматривалось уточнение трех грунтово-геоморфологических и гидрогеологических условий, которые характеризуют исходную балльность района г. Еревана. С этой целью в 1960 г. было осуществлено инженерно-геологическое обследование древних сооружений и территории некоторых населенных пунктов, расположенных в эпицентральной области землетрясения 1679 года. Это землетрясение было одним из сильнейших, отмеченных в Араратской равнине в прошлом. Оно относительно хорошо описано. Согласно каталогу Е. И. Бюса [15] интенсивность этого землетрясения была равной 8 баллам. Анализ историко-археологических материалов показал, что многие древние сооружения, перенесшие это землетрясение остались в сохранности.

Полевому обследованию были подвергнуты 18 церквей на территории несколько населенных пунктов, упомянутых в числе разрушенных при этом землетрясении. Выяснилось, что максимальный эффект этого землетрясения (возможно 9 баллов) проявился на вершине холма, сложенного плиоценовыми базальтами (церковь св. Ованеса в Конде) и на краю обрыва глубокого ущелья, также сложенного массивными базальтами (Ереванская крепость, церковь св. Саркиса в Дзорагюхе, языческий храм в Гарни, монастырь Хор-Вирап у Арташата).

Согласно историческим сведениям упомянутые древние сооружения разрушились при этом землетрясении. В дальнейшем на месте ереванских церквей св. Ованеса и св. Саркиса были построены новые церкви, не отличающиеся конструктивным решением от разрушенных (данные Гос. комитета по охране памятников). Остатки же величественного храма в Гарни сохранились до настоящего времени.

Указанные в числе разрушенных архитектурные памятники являются весьма жесткими сооружениями. Здесь помимо неблагоприятной геоморфологии (скалистый утес, вершина отдельно стоящего холма) сказалось также неблагоприятное сочетание динамических свойств грунтов основания и сооружения (жесткое сооружение на жестком основании). Аналогичное явление нами наблюдалось при обследовании гегечкорского землетрясения в 1957 году [15] и при инженерно-геологическом обследовании древних сооружений Разданского района Армянской ССР*.

* Обследование проводилось в связи с сейсмическим микрорайонированием территории Разданского горно-химического комбината. Научно-технический отчет хранится в библиотеке АН ССР.

На рис. 5 приведен в качестве примера общий вид монастыря Хор-Вирап у Арташата, разрушенного при землетрясении 1679 года. (он расположен на вершине скалистого холма).



Рис. 5. Монастырь Хор-Вирап у Арташата.

Приведенные данные позволяют уточнить оценку интенсивности сильных землетрясений в прошлом путем инженерно- геологического обследования древних сооружений*. По-видимому, целесообразно рекомендовать такие исследования при микросейсмрайонировании всех населенных пунктов, в районе которых имеются древние сооружения, перенесшие сильные землетрясения. Результаты этих исследований дадут ценный материал не только для сейсмического микрорайонирования, но и могут быть с успехом использованы при составлении новых карт сейсмического районирования сейсмоактивных областей нашей страны.

Институт геофизики и инженерной сейсмологии
АН Арийской ССР

Поступило 15 I 1962

В. И. ФЕРИДЖАН

ԳՈՐԴԻՔԱՅԻՆ ԴԻՏԱՐԿՈՒՄՆԵՐԻ ՎՐԱ ՀԻՄՆՎԱԾ ՍԵՅՍՄԻԿ
ՄԻԿՐՈՇՐՋԱՆԱՅՄԱՆ ՄԱՍԻՆ

Ա մ փ ո փ ու մ

Հողվածում քննադատվում է սկզբիկ միկրոշրջանացման միջև ավտմ կիրառվող ինժեներա-կիրաքանական մեթոդը որպես խնդրի միայն որակական լուծում տարհովող և ոչ օրինկտիվ մեթոդ:

* Подробному описанию методики инженерно-геологического обследования древних сооружений и полученных результатов будет посвящено специальное сообщение.

Շարադրված է սեյսմիկ միկրոշրջանացման ընդհանուր խնդիրը, որի լուծումը պահանջում է հետազոտությունների կոմպլեքս՝ գործիքային դիտարկումների, ինժեներային երկրաբանություն, ընդհանուր սեյսմոակտիվություն և հնադուր կառուցվածքների ու ճարտարապետական հուշարձանների և նրանց շրջակա տեղանքի հետազոտման ուղղություններ:

Շարադրված է գործիքային դիտարկումների արդյունքների ակսերոգրամների ու սեյսմոգրամների մշակման տեսական մեթոդը, որը հնարավորություն է տալիս հաշվելու երկրաշարժերի ժամանակ շենքերի վրա եկող իներցիոն ուժը: Այդ նպատակի համար հեղինակի կողմից երևանում կազմակերպված է ինժեներա-սեյսմոլոգիական ցանց՝ կազմված 5 ժամանակավոր սեյսմիկ կայաններից և 6 սեյսմոմետրներից: Բոլոր տասը կետերը հաղեցված են համապատասխան չափիչ գործիքներով: Խնդրված են զբանջված երկրաշարժի մշտական սկզբնական արդյունքները, ըստ սեյսմոմետրի:

Շարադրված են նաև երևանի հինգ տարրեր ինժեներա-երկրաբանական դոսիներում սեյսմիկ ալիքների տարածման արագություն չափման մեթոդը և արդյունքները: Երկրադրված են երևանի շրջակայքի հնադուր կառուցվածքի երկրաբանական և մորֆոլոգիական առանձնահատկությունների ուսումնասիրման մեթոդը և ստացված նախնական արդյունքները: Վերջին հետազոտությունները նպատակ ունեն ճշտելու մերձերևանյան շրջանի սեյսմակտիվության վերջին սահմանը՝ կապված տեղանքի կոնկրետ ինժեներա-երկրաբանական և գեոմորֆոլոգիական պայմանների հետ: Դա իրիստ անհրաժեշտ է ճշգրիտ միկրոսեյսմոլոգիական պահանջումը ապահովելու համար:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Низаров А. Г., Карапетян Б. К., Пирюзян С. А., Сейсмическое микрорайонирование на инструментальной основе. ДАН АрмССР, т. XXXII, № 3, 1961.
2. Низаров А. Г., Метод инженерного анализа сейсмических сил. Изд. АН Арм. ССР, Ереван, 1956.
3. Нормы и правила строительства в сейсмических районах. СНБ—57, М., 1957.
4. Хачиян М. Г., Многомаятниковый прецизионный сейсмометр. ДАН АН Арм. ССР, № 5, 1955.
5. Низаров А. Г., Карапетян Б. К., Пирюзян С. А., Сафарян А. Н., Шагиян С. А., Предварительные итоги инженерно-сейсмологического отряда ТКСЭ в районе г. Дюшамбе. Известия ОН АН Таджикской ССР, 3 (30), Дюшамбе, 1959.
6. Пирюзян С. А., Фиксация землетрясений 13 февраля 1957 г. в г. Ереване многомаятниковыми сейсмометрами АИС-2. Известия АН Арм. ССР (серия техн. наук), XI, № 5, 1958.
7. Шагиян С. А., Результаты инструментального определения коэффициента динамичности. Труды Института сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН Тадж. ССР, т. VIII, Дюшамбе, 1960.
8. Нечаев В. А., Сейсмическое микрорайонирование территории г. Дюшамбе на основе инструментально-геологического метода. Материалы сталинабадского совещания по сейсмостойкому строительству и инженерной сейсмологии. Дюшамбе, 1959.
9. Карапетян Б. К., Результаты сейсмометрических наблюдений при массовых взрывах. Известия АН Арм. ССР (серия техн. наук), т. X, № 3, 1957.
10. Карапетян Б. К., Пирюзян С. А., Изучение сейсмоземных колебаний в тоннеле Армводстроя на Лусаванском карьере. Труды АИСМа, вып. I, 1959.

11. Гзелишвили И. А., Карапетян Б. К., Кац А. Э., Лямзина Г. А., Медведев С. В., Пирузян С. А., Попов В. В., Пучков С. В., Самков Б. Н., Шагинян С. А. Инструкция по сейсмическому микрорайонированию. Труды Ин-та физики Земли АН СССР (находится в печати).
12. Кац А. Э. Некоторые вопросы методики сейсмического микрорайонирования. Труды ИФЗ АН СССР, № 5 (172), М., 1952.
13. Пирузян С. А. Об определении сейсмических свойств грунтов в естественном залегании прибрежного района. Известия АН АрмССР (серия техн. наук) № 6, 1961.
14. Карапетян Б. К. Результаты экспериментального исследования колебаний характерных зданий г. Еревана. Известия АН Арм. ССР, серия техн. наук, № 5, 1961.
15. Бюс Е. И. Сейсмические условия Закавказья, том. II, Тбилиси, 1952.
16. Пирузян С. А. К вопросу влияния микрогеологии на величину силы сотрясения по данным гегечкорского землетрясения 1957 года. Известия АН Арм. ССР (серия техн. наук), № 6, 1957.

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

А. М. ГАСПАРЯН, Н. С. ИКАРЯН

СТЕСНЕННОЕ ПАДЕНИЕ ЧАСТИЦ

Бесформенные частицы. Экспериментальная проверка гипотезы о псевдочастице

Сообщение 5

1. Уравнения стесненного падения бесформенных частиц

§ 1. Ранее [1] было показано, что отношение U/C , в ламинарной и переходной областях, зависит от концентрации φ и с ее ростом уменьшается:

$$U/C = f(\varphi), \quad \frac{d(U/C)}{d\varphi} < 0. \quad (1)$$

В турбулентной области:

$$U/C + \varphi_0 = \text{Const}, \quad (2)$$

где, однако, φ_0 не является шаровым числом частицы ψ .

Далее [1], была выдвинута гипотеза о псевдочастице, согласно которой бесформенная частица в вязкой среде обволакивается неподвижной относительно себя средой, и вместе с ней образует как бы новую частицу (псевдочастицу), с большими размерами и меньшей плотностью; количество неподвижно приставшей к частице среды зависит от формы самой частицы и числа Рейнольдса. Оно не зависит от объемной концентрации φ взвеси (слоя).

На рис. 1, в ряду *а*, изображены три одинаковые бесформенные частицы. В ряду *б* показаны три псевдочастицы, возникающие при различных значениях числа Рейнольдса. Наиболее округлая, близкая к сфере псевдочастица *б-1* возникает при небольших *Re*. При сравнительно большом числе Рейнольдса частица освобождается от части приставшей неподвижной жидкости и получает форму *б-2*. В турбулентной области частица почти полностью оголяется, принимая форму *б-3*. В ряде *в* изображены три псевдошара, которые по своему объему и плотности идентичны соответствующим псевдочастицам ряда *б*. В ряду *г* показаны три одинаковых шара, эквивалентных по объему и плотности бесформенным частицам ряда *а*. Поскольку реально частицы в среде имеют формы псевдочастиц, изображенных в ряду *б*, то задача заключается в определении скоро-

сти падения именно этих частиц. Для этого сначала определим связь между скоростями свободного падения эквивалентных шариков ε и псевдошариков δ .

Исходя из этих представлений и имея в виду, что частица, псев-



Рис. 1.

дочастица и эквивалентная сфера в среде имеют один и тот же избыточный вес (вес, с вычетом Архимедовых сил), идущий на преодоление сопротивления среды, выведены следующие уравнения:

$$U_0 = \frac{3}{\alpha^{1/3}} C_0, \quad (3)$$

$$U = KU_0(1 - \alpha\varphi)^n = \frac{\beta KC_0}{\alpha^{1/3}} (1 - \alpha\varphi)^n. \quad (4)$$

Эти уравнения являются количественным выражением предложенной гипотезы о псевдочастице. U — скорость стесненного падения (*ссп*) псевдочастиц и, следовательно, *ссп* самих бесформенных частиц. Для данных „монодисперсных“ бесформенных частиц и данного числа Рейнольдса, коэффициент формы β и объемный коэффициент α должны быть постоянными во всем диапазоне изменения концентрации φ .

Ометим, что под числом Рейнольдса подразумевается:

$$Re = \frac{\rho C_0 d}{\mu}, \quad (5)$$

где d и C_0 — диаметр и скорость свободного падения эквивалентной сферы ε (рис. 1).

Для проверки (4), дополнительно к ранее опубликованным данным [2] были исследованы 82 образца помолов барита, арагонита, стекла и базальта. Опыты подтвердили удовлетворительность выдвинутой гипотезы и позволили сделать следующие выводы:

1. В области малых чисел Рейнольдса, то есть до $Re=2-3$, коэффициент формы β по величине близок к единице. В этой области

объемный коэффициент α достигает своего максимума для данных бесформенных частиц, не зависит от Re и является постоянной величиной — α_0 . Для *ссп* бесформенных частиц в этой области можно писать:

$$U = \frac{KC_0}{\alpha_0^{1/3}} (1 - \alpha_0 \varphi)^3; \quad (6)$$

2. В области больших чисел Рейнольдса ($Re > 1000$) частица полностью, или почти полностью освобождается от неподвижно приставшей среды и объемный коэффициент $\alpha = 1$. Коэффициент формы β достигает своего минимума для данных частиц, перестает зависеть от Re , становится постоянной величиной — β_0 . Для *ссп* бесформенных частиц в этой области, имеем:

$$U = \beta_0 KC_0 (1 - \varphi)^a \quad (7)$$

или

$$U = \beta_0 C; \quad (8)$$

3. В области $3 < Re < 1000$ (почти вся переходная область и часть турбулентной области) α и β , для данных бесформенных частиц, являются функцией от Re и с его ростом уменьшаются. α уменьшаясь, приводит к увеличению скорости падения. β , уменьшаясь, приводит к уменьшению этой скорости.

2. Эксперименты, их обработка и результаты

§ 2. „Монодисперсные“ узкие фракции частиц были получены следующим образом. Отобранный кусковой материал дробился и измельчался до максимальных размеров в 3–4 мм. Полученный полидисперсный помол промывался водой для удаления пыли (частиц 30–40 μ). Вновь высушенный материал при помощи сит делился на возможные узкие фракции. Затем, каждая из них подвергалась дополнительной гидросепарации. Для этого ситовая фракция загружалась в стеклянную колонку, расширялась потоком воды во взвесь с концентрацией $\varphi \approx 0,1$ и в этом состоянии выдерживалась в течение 20–30 минут, в восходящем постоянном потоке воды. Затем, не нарушая режим потока, в колонку сверху, вводилась сифонирующая резиновая трубка и медленно, начиная с верхнего уровня взвеси, удалялась из колонки примерно 1/3 всего столба взвеси. Вторая треть взвеси таким же образом переводилась в другую емкость, отделялась от воды, сушилась, и применялась в дальнейших опытах, как „монодисперсная“ узкая фракция. Конечно, о выделении поистине монодисперсных частиц из помолов не может быть речи. Таким образом, полученная фракция состояла из частиц, имеющих близкие гидравлические крупности. На рисунках 2–5 приведены микрофотографии „монодисперсных“ фракций помолов барита, арагонита, стекла и базальта.

§ 3. Экспериментальное определение скоростей стесненного падения (*ссп*) U в зависимости от концентрации φ производилось

способом взвешивания в потоке воды, с соблюдением всех требований, обеспечивающих объективность и надежность измерений [3]. Значения U определялись в диапазоне φ от 0,06 до 0,4. На рис. 6



Рис. 2.



Рис. 3.

приведена, в качестве примера, кривая для барита (серия № 15, табл. 1).

§ 4. Плотность всех фракций определялась пикнометрическим способом. Все фракции аргонита и стекла имели одинаковые плотности и соответственно составляли 2,71 и 2,29. Плотность фракций



Рис. 4.



Рис. 5.

барита колебалась между 4,10 и 4,47, а фракций базальта между 2,78 и 2,88. При расчетах учитывалась плотность каждой данной фракции барита и базальта, а не среднее ее значение.

Эквивалентный средний диаметр частиц фракций определялся следующим способом. Из различных мест данной фракции брались пробы и перемешивались. Из этой средней пробы бралась новая проба, содержащая от одной тысячи (для крупных частиц) до несколь-

ких тысяч частиц. Определив число частиц в пробе, взвешивали ее на микроаналитических весах. Исходя из веса G , плотности ρ_t и числа частиц N , подсчитывали средний эквивалентный диаметр шара для данной фракции по формуле:

$$\bar{d} = \sqrt[3]{\frac{6G}{\pi\rho_t N}} \quad (9)$$

По вычисленным значениям $\bar{d}$, вязкости среды μ и плотности ρ по кривой Лященко находили число Рейнольдса, и по формуле (5) подсчитывали значение C_0 .

Значения показателя n и коэффициента K , входящих в (4), определяли, исходя из соответствующих значений Re , из уравнений, выведенных ранее [4]:

$$\left. \begin{aligned} Re < 0,5, \quad n &= 4,72; \quad Re > 750, \quad n = 2,58; \\ 0,5 < Re < 75, \quad n &= 4,49 - 0,77 \lg Re; \\ 75 < Re < 750, \quad n &= 3,93 - 0,47 \lg Re. \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

$$K = 0,5 + 0,1 \, n. \quad (11)$$

§ 5. Объемный коэффициент α и коэффициент формы β для частиц данного материала имеющих данное число Рейнольдса, согласно принятой гипотезы, на всем диапазоне изменений концентрации φ , будут постоянными величинами.

Коэффициент α определяется на основании (4) при фиксированных U_1 и U_2 :

$$\frac{U_1}{U_2} = \left(\frac{1 - \alpha\varphi_1}{1 - \alpha\varphi_2} \right)^n. \quad (12)$$

На основании (12):

$$\alpha = \frac{A - 1}{A\varphi_2 - \varphi_1}, \quad (13)$$

где $A = (U_1 : U_2)^{\frac{1}{n}}$

Из каждой кривой $U = f(\varphi)$ брались 6 пар значений φ (0,1—0,2; 0,1—0,3; 0,1—0,4; 0,2—0,3; 0,2—0,4 и 0,3—0,4) и по (13) находились 6 соответствующих значений α . Отклонение полученных значений α от средних в большинстве случаев не превышает 20%. Максимальное отклонение в единичных случаях доходит до 60%.

Далее, подставляя средние значения (из 6 определений) α в (4), для четырех значений φ (0,1; 0,2; 0,3 и 0,4), определяли значение β .

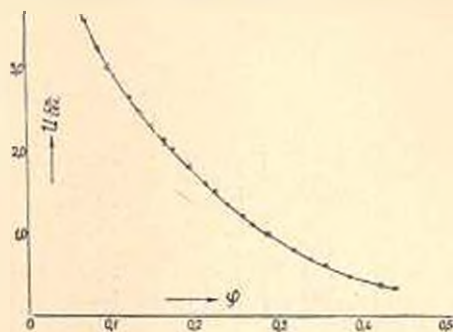


Рис. 6.

Продолжен. табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Стекло, плотность 2,29; $\alpha_0 = 1,350$							
42	1188	3,960	38,60	1,000	0,725	1,379	1,379
43	1046	3,650	36,80	1,003	0,751	1,336	1,336
44	880	3,290	34,10	1,013	0,740	1,370	1,370
45	804	3,050	32,60	1,019	0,774	1,318	1,316
46	603	2,600	28,60	1,055	0,758	1,392	1,395
47	414	2,190	25,40	1,080	0,840	1,287	1,360
48	359	1,920	23,30	1,097	0,788	1,392	1,350
49	207	1,410	18,46	1,145	0,850	1,347	1,335
50	141,3	1,140	15,21	1,198	0,897	1,337	1,369
51	100,0	0,960	12,77	1,207	0,920	1,313	1,327
52	74,2	0,840	10,96	1,255	0,926	1,355	1,357
53	54,2	0,716	9,28	1,260	0,925	1,363	1,350
54	44,6	0,649	8,32	1,280	0,952	1,346	1,368
55	42,7	0,644	8,20	1,292	0,928	1,390	1,382
56	29,5	0,524	6,62	1,281	0,925	1,385	1,352
57	21,5	0,388	5,40	1,282	0,962	1,333	1,347
58	22,5	0,482	5,87	1,296	0,963	1,347	1,362
59	5,40	0,218	2,40	1,326	0,973	1,363	1,343
60	2,46	0,1668	1,507	1,348	1,018	1,324	1,348
61	1,243	0,1298	0,976	1,351	1,005	1,345	1,351
62	0,635	0,0985	0,623	1,346	1,047	1,285	1,346
63	0,292	0,0766	0,382	1,368	1,018	1,342	1,368
64	0,140	0,0598	0,236	1,353	1,033	1,310	1,333

 α_0 (среднее)

1,346

1,355

Базальт, плотность от 2,78 до 2,88; $\alpha_0 = 1,380$

65	871	2,970	37,90	1,017	0,725	1,402	1,416
66	569	2,350	31,50	1,059	0,784	1,351	1,382
67	436	1,960	28,60	1,087	0,765	1,420	1,384
68	385	1,803	27,20	1,102	0,764	1,442	1,392
69	266	1,470	23,10	1,143	0,800	1,427	1,407
70	178,0	1,170	19,30	1,188	0,832	1,426	1,396
71	127,0	0,970	16,55	1,219	0,867	1,405	1,386
72	100,2	0,879	14,35	1,244	0,896	1,387	1,385
73	72,8	0,745	12,22	1,273	0,890	1,429	1,382
74	57,3	0,653	10,80	1,290	0,913	1,413	1,394
75	37,4	0,545	8,64	1,296	0,915	1,416	1,381
76	16,60	0,380	5,66	1,326	0,945	1,402	1,385
77	8,18	0,229	3,48	1,342	0,967	1,388	1,376
78	4,42	0,1801	2,48	1,370	0,974	1,407	1,382
79	1,89	0,1308	1,428	1,376	0,995	1,382	1,376
80	0,759	0,0861	0,765	1,372	1,000	1,372	1,372
81	0,339	0,0735	0,486	1,382	1,044	1,324	1,382
82	0,160	0,0595	0,297	1,365	1,050	1,300	1,365

 α_0 (среднее)

1,394

1,387

Например, для серии № 77 (табл. 1, базальт) получены следующие значения α и β :

$$\alpha = 1,378, 1,346, 1,338, 1,366, 1,341, 1,332;$$

$$\beta = 0,954, 0,972, 0,961, 0,984.$$

Среднее значение α составляет 1,342. Максимальное отклонение

от среднего значения $+1,79$ и $-1,04\%$. Среднее значение $\beta = 0,967$, максимальные отклонения $+1,76$ и $-1,34\%$. Этот случай является типичным.

В табл. 1 сведены основные данные по испытанным 82 образцам помолов. В графе 2 таблицы приведены значения чисел Рейнольдса, а в графах 3 и 4 диаметр эквивалентного шара и скорость его свободного падения, определенные согласно § 4.

В графах 5 и 6 приведены значения коэффициентов α и β , определенные согласно § 5. По этим данным составлены кривые показанные на рис. 7 и 8. В табл. 2 представлены уравнения для определе-

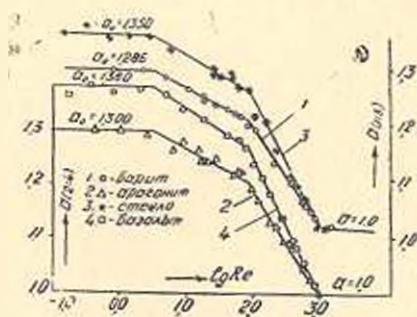


Рис. 7.

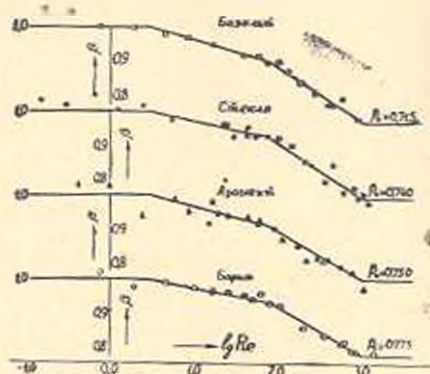


Рис. 8.

ния значений коэффициентов α и β по соответствующим значениям чисел Рейнольдса. Отметим, что по уравнениям (14) и (4) можно рассчитать α для любых фракций барита, при концентрациях φ в пределах $0,05 \div 0,4$; по уравнениям (15) и (4) для арагонита; по уравнениям (16) и (4) для стекла и т. д.

§ 6. Согласно изложенного, для каждого вещества, имеющего свою специфическую форму частиц, необходимо вычислить $\alpha = f(Re)$ и $\beta = f(Re)$. Это связано с проведением значительного объема экспериментальных исследований и обработки соответствующих опытных данных. Анализ полученных данных показал, что определение α и β для данного вещества можно значительно упростить.

В графе 7 табл. 1 приведено отношение $\alpha : \beta$ и, как видно, это отношение мало отличается по величине от значения α_0 , найденного по рис. 7 и приведенного в табл. 2. Например, среднее значение ($\alpha : \beta$) для 19 образцов барита составляет 1,286, то есть точно совпадает со значением α_0 , вычисленным по уравнению (14). На основании полученных результатов можно написать

$$\alpha : \beta \cong \alpha_0. \quad (18)$$

В случае, когда $\beta = \beta_0$, то есть, когда частица оголена, $\alpha = 1$. Следовательно, из выражения (18) получим:

$$\alpha_0 : \beta_0 = 1. \quad (19)$$

№ уравнений	Вещество	$Re < 3$	$3 < Re < 75$	$75 < Re < 1000$	$Re > 1000$	$Re = 75$
(14)	Барит	$\alpha_0 = 1,286$ $\beta = 1,0$	$\alpha = 1,315 - 0,0614 \lg Re$ $\beta = 1,022 - 0,0465 \lg Re$	$\alpha = 1,533 - 0,1777 \lg Re$ $\beta = 1,200 - 0,1420 \lg Re$	$\alpha = 1,0$ $\beta_0 = 0,775$	$\alpha' = 1,200$ $\beta' = 0,935$
(15)	Арагонит	$\alpha_0 = 1,300$ $\beta = 1,0$	$\alpha = 1,331 - 0,0643 \lg Re$ $\beta = 1,029 - 0,0608 \lg Re$	$\alpha = 1,560 - 0,1865 \lg Re$ $\beta = 1,190 - 0,1466 \lg Re$	$\alpha = 1,0$ $\beta_0 = 0,750$	$\alpha' = 1,210$ $\beta' = 0,915$
(16)	Стекло	$\alpha_0 = 1,350$ $\beta = 1,0$	$\alpha = 1,382 - 0,0672 \lg Re$ $\beta = 1,025 - 0,0536 \lg Re$	$\alpha = 1,630 - 0,2097 \lg Re$ $\beta = 1,233 - 0,1642 \lg Re$	$\alpha = 1,0$ $\beta_0 = 0,740$	$\alpha' = 1,253$ $\beta' = 0,925$
(17)	Базальт	$\alpha_0 = 1,380$ $\beta = 1,0$	$\alpha = 1,415 - 0,0746 \lg Re$ $\beta = 1,036 - 0,0750 \lg Re$	$\alpha = 1,735 - 0,2450 \lg Re$ $\beta = 1,195 - 0,1600 \lg Re$	$\alpha = 1,0$ $\beta_0 = 0,715$	$\alpha' = 1,275$ $\beta' = 0,900$

Согласно данным табл. 2 $\alpha_0 \beta_0$ равно для: барита—0,997; арагонита—0,975; стекла—1,00; базальта—0,988.

Как видно из рис. 7 и 8, в переходной области, при числе Рейнольдса 75, имеет место перелом кривых $\alpha = f_1(Re)$ и $\beta = f_2(Re)$. В графе 7 табл. 2 приведены значения α' и β' , соответствующие точкам перелома. Для большей наглядности на рис. 9, в другом масштабе,

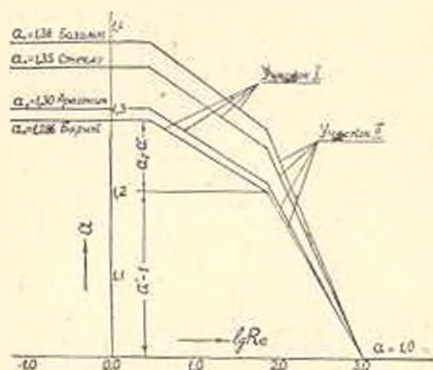


Рис. 9.

представлены осредненные значения α . На более пологом участке I разность $(\alpha_0 - \alpha')$ для различных веществ разная и растет с ростом α_0 . Однако в среднем для барита, арагонита, стекла и базальта

$$\frac{\alpha_0 - \alpha'}{\alpha_0 - 1} \approx 0,29. \quad (20)$$

Для участка II (рис. 9) отношение:

$$\frac{\alpha' - 1}{\alpha_0 - 1} \approx 0,71. \quad (21)$$

Исходя из осредненных выражений (20) и (21), получаются следующие уравнения для первого и второго участков переходной области:

$$3 < Re < 75,$$

$$\alpha = 1,099 \alpha_0 - 0,099 - 0,207 (\alpha_0 - 1) \lg Re; \quad (22)$$

$$75 < Re < 1000,$$

$$\alpha = 1,89 \alpha_0 - 0,89 - 0,63 (\alpha_0 - 1) \lg Re. \quad (23)$$

По этим уравнениям и по экспериментальным значениям α (графа 5 табл. 1) вычислены значения α_0 приведенные в графе 8 табл. 1. Отклонение средних значений α_0 от соответствующих α_0 табл. 2 составляет для барита 0,15%, арагонита 0,46%, базальта 0,51%, стекла 0,37%.

В силу изложенного рекомендуется следующий порядок определения коэффициентов α и β для помола данного вещества.

Из помола тщательно выделяется возможно узкая фракция, определяется плотность, а затем средний диаметр эквивалентного шарика, по способу, описанному в § 4. Затем берется навеска из фракции и способом взвешенного слоя [3] находится кривая $U = f(\tau)$. Исходя из плотностей частиц и среды расширения, от вязкости среды и диаметра эквивалентного шарика, при помощи кривой Лященко (или другим удобным и достаточно надежным способом) определяется число Рейнольдса. При помощи найденного значения Re , находится [4] значение показателя n уравнения (4), после чего, по способу § 5, определяются значения α и β для нескольких пар U . Расхождения между значениями α и β , соответствующих различным парам U , не должны превышать 2-3%. По средним значениям α и β из (18) на-

ходятся α_0 , а из (19) — β_0 . Далее при помощи (22) и (23) определяется значение α для любого числа Рейнольдса и для любой фракции данного вещества.

Определение значения α_0 для данного вещества можно существенно упростить, если выделенная фракция достаточно мелкая и в данной среде число Рейнольдса не превышает 0,5, то есть, если режим падения частиц заведомо ламинарен. В таком случае отпадает надобность определения точного значения Re , так как в ламинарной области показатель n уравнения (4) равен 4,72. Достаточно для такой фракции получить опытную кривую $U = f(\varphi)$ и по способу, приведенному в § 5, определить ряд значений α и β . Если режим действительно ламинарен, то значения β должны быть очень близки к единице, а $\alpha = \alpha_0$. Далее, при помощи (22), (23) и (18) можно определить искомые коэффициенты для любой фракции.

Опытами показана удовлетворительность гипотезы о псевдочас-тице и уравнений, выведенных на ее основе. Найдена эмпирическая зависимость между объемным коэффициентом и коэффициентом формы и рекомендованы упрощенные способы экспериментального определения этих коэффициентов.

Институт органической химии
АН Армянской ССР

Поступило 15.VI.1962

Ա. Մ. ԴԱՍՏԱՐՅԱՆ, Ն. Ս. ԻՎԱՐԱՆ

ՄԱՍՆԻԿՆԵՐԻ ԿԱՇԿԱՆԻՎԱՄ ԱՆԿՈՒՄ

ՏձԵ. մասնիկներ: Պսևդոմասնիկի նկարագրի ստուգումը փորձերի միջոցով
(ՀԱՂՈՐԴՈՒՄ 5)

Ա. մ փ ո փ ո լ մ

Նախկինում մենք ցույց ենք տվել¹, թե $U \propto C$ հարաբերությունը ինչպես է կախված $\propto$ կոնցենտրացիայից և առաջարկել ենք պսևդոմասնիկի վերաբեր-չալ հիպոթեզը: Այդ հիպոթեզի հիման վրա դուրս է բերված (4) հավասարու-մը, որը «մոնոդիսպերս» տեղ մասնիկների կաշկանդված անկման արագու-թյուն համար ընդհանուր տեսքի հավասարում է հանգիստանում: (6) և (7) հա-վասարումները նրա մասնավոր դեպքերն են յամինար և տուրբուլենտ տի-րուլթների համար:

Պսևդոմասնիկի (նկ. 1 «Ը») հիպոթեզի ճշտությունն ստուգելու նպատա-կով պատրաստել և փորձարկել ենք տարբեր նյութերից պատրաստված «մո-նոդիսպերս» նմուշներ (տես՝ 2, 3, 4, և 5 նկարները): Նկարագրված է այդ «մոնոդիսպերս», նեղ ֆրակցիաների պատրաստման ընթացքը, փորձերի կա-տարումը և $U = f(\varphi)$ կորերի ստացումը (տես՝ 6 նկարը): Մասնիկների խտու-թյունը որոշված է պինդամետրիկ եղանակով, իսկ էկվիվալենտ միջին տրամա-դիմը՝ (9) հավասարման հիման վրա: Էկվիվալենտ զնդիկների ազատ անկման Co — արագությունը որոշված է համապատասխան Re -ի ուրժևից, որն իր

հերթին որոշված է կլաշենկոյի կորից: Աղյուսակ 1-ի 2, 3 և 4 սյունակներում բերված են փորձարկված 82 նմուշների Re , θ և Co արժեքները:

Ֆուրաքանչյուր սերիայի փորձերի համար (1) հավասարման n -ցուցիչը և K — գործակիցը որոշված են (10) և (11) հավասարումների օգնությամբ: Համապատասխան α մասկալային գործակիցն ու β -ձևի գործակիցը որոշված են նախկինում նկարագրված եղանակով¹: Ելնելով այդ սերիայի փորձերի տվյալներից: Ստացված α և β արժեքների հաստատունությունը (տվյալ սերիայի համար) վկայում է ռսեղոմասնիկի հիպոթեզի ճշտության մասին: Աղյուսակ 1-ի 5 և 6 սյունակներում տրված են փորձարկված բոլոր նմուշների α և β արժեքները: Փորձարկված 7 տարբեր նյութերի համար նկար 7-ում ներկայացված է $\alpha = f_1(Re)$ կորը: Իսկ նկար 8-ում $\beta = f_2(Re)$ կապը: Ստացված ռեկյալների առանձին հատվածների համար որոշված են էմպիրիկ հավասարումներ, որոնք աղյուսակ 2-ում ամփոփված են որպես (14), (15), (16) և (17) հավասարումների սխեմաներ:

Եկատի ունենալով, որ α և β հարաբերությունները (աղյուսակ 1-ի 7 սյունակ) փորձարկված ամեն մի նյութի համար ընդունելի չափով հաստատուն են ստացվում և նրանց միջին արժեքը լավ է համընկնում տվյալ նյութի α արժեքի հետ (նկար 7), կարող ենք գրել (18 և 19) հավասարումները: Փորձարկված նյութերի համար (20) և (21) արտահայտությունների հաստատուն լինելու հանգամանքը (տես 9 նկարը), հնարավորություն է տալիս տե՛ս մասնիկների α -ի փոփոխման համար առաջարկել ընդհանուր հավասարում, որն անցման տիրույթում արտահայտվում է (22) և (23) հավասարումներով: Այդ հավասարումների հիման վրա որոշված α արժեքները, որոնք բերված են աղյուսակ 1-ի 8 սյունակում, բավարար չափով համապատասխանում են α -ի այլ ճանապարհով ստացված արժեքներին: Հետևաբար, տե՛ս մասնիկների α և β գործակիցների որոշման հարցը փաստորեն հանգում է նրանց α -ի որոշմանը, որն անհամեմատ ավելի պարզ խնդիր է: Այսպիսով որևէ նյութի համար կարելի է հեշտությամբ α -ն որոշել փորձարկելով նրանից պատրաստված մի ժմոռոդիսպերս: Նմուշ և կառուցելով նրա $U = f(\alpha)$ կորը: Իմանալով տվյալ նյութի α -ն, կարող ենք ցանկացած Re -ի թվի պայմաններում և ցանկացած կոնցենտրացիայի դեպքում որոշել այդ նյութի մասնիկների կաշկանդված անկման տրագությունը, ռադիկով (4), (10), (11), (18), (19), (22) և (23) հավասարումներից:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Гаспарян А. М. и Икарян Н. С. ДАН Армянской ССР, т. XXV, 1957.
2. Гаспарян А. М. и Икарян Н. С. ДАН Армянской ССР, т. XXVI, 93, 1958.
3. Гаспарян А. М. и Заминкин А. А. ДАН Армянской ССР, т. XXV, 213, 1957.
4. Гаспарян А. М. Икарян Н. С. «Известия АН Армянской ССР» (серия тех. наук), т. XV, № 2, 1962.

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

М. Г. ХАЧИЯН

МАЛОГАБАРИТНЫЙ ЖИДКОСТНЫЙ АКСЕЛЕРОГРАФ

При исследовании динамики сооружений, конструкций и машин учет инерционных сил связан с определением ускорений. Для измерения ускорений автором заметки был сконструирован малогабаритный акселерограф, у которого инертной массой служит жидкость [4]. Первоначально прибор состоял из стального пустотелого цилиндра, закрытого по торцам мембранами и заполненного жидкостью (рис. 1).

В случае нахождения жидкости с высотой столба h и с объемным весом γ в покое на мембрану радиусом R передается давление интенсивностью $P = \gamma h$. Пусть корпус прибора смещается с ускорением a . Деформация мембраны x будет пропорциональна ускорению $x = Ka$, где K — коэффициент пропорциональности. Известно, что гидростатическое давление на мембрану не зависит

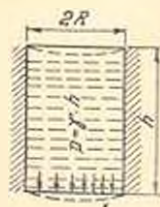


Рис. 1.

от формы и размеров поперечного сечения сосуда с жидкостью. При достаточной жесткости стенок сосуда и высокой частоте свободных колебаний системы в целом, по сравнению с частотой вынужденных колебаний, для которых определяется ускорение, гидродинамическое давление жидкости, заключенной в герметический сосуд будет весьма

близко к гидростатическому давлению. В свете изложенного в дальнейшем автором с целью уменьшения веса и габаритов прибора был сконструирован ртутный акселерограф, имеющий форму катушки (рис. 2). Несмотря на различный вес и форму, оба описанных акселерографа давали идентичные результаты.

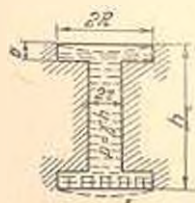


Рис. 2.

Окончательно автором для широкого применения был предложен акселерограф в виде катушки весом 90 г с размерами $b = 2$ мм, $h = 30$ мм, $R = 10$ мм, $r = 3$ мм. Для демпфирования прибора, что необходимо для поглощения собственных колебаний, в ртуть добавлялось олово, которое хорошо растворяется в ней. Вследствие этого вязкость ртути увеличивалась и обеспечивалось необходимое затухание колебаний. Во избежание появления отсоса (при заливке ртути) необходимо, чтобы в цилиндре не оставалось воздуха. В приборе были предусмотрены два отверстия,

одно для заливки ртути другое для выхода воздуха. Ввинчиванием в эти отверстия винтов добивались начального давления на мембраны.

Для измерения деформаций мембран на них наклеивались датчики сопротивления. Датчики включались в два соседних плеча мостовой цепи. Знаки изменения сопротивлений были противоположны и этим достигалась значительная компенсация температурной погрешности прибора. Мембраны были изготовлены из пружинной стали толщиной 0,15 мм.

Чувствительность акселерографа может быть выражена: напряжением на выходе моста; относительным изменением сопротивления; относительной деформацией мембраны, отнесенной к единице ускорения. Так как величина ускорения обычно записывается на осциллограммах, то удобно чувствительность прибора определять в мм/г . Тарировка приборов производилась на виброплатформе, при этом определялась чувствительность прибора и частотная характеристика.

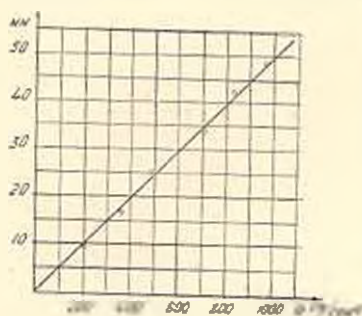


Рис. 3.

На рис. 3 показана зависимость между ускорением и приведенными деформациями мембраны акселерографа. Нетрудно видеть, что для ускорений порядка g имеется линейная зависимость.

Впервые такой акселерограф применялся при определении инерционных сил модели фабрично-заводской дымовой трубы [3]. Чувствительность прибора: 1 мм записи соответствовала ускорению 20 см/сек^2 , при собственной частоте 140 герц.

Малогабаритный жидкостный акселерограф в настоящее время получил применение при исследовании динамических характеристик моделей конструкций, сооружений, а также деталей и узлов машин.

Армянский НИИ стройматериалов
и сооружений

20.11. 1962 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Назаров А. Г. Методы инженерного анализа сейсмических сил. Ереван, 1959.
2. Раевский Н. П., Субботин М. И. Измерение линейных ускорений. Изд. АН СССР, М., 1961.
3. Сагдиев Т. Г., Диланян А. А. Результаты модельных исследований фабрично-заводской дымовой трубы. Тр. Института сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН Таджикской ССР, т. 9, 1951.
4. Хачиян М. Г. Жидкостный акселерограф. ДАН Армянской ССР, т. XXVII, № 1, 1958.

Բ ՈՒՆԻԱՆԴԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

Հիդրոէներգետիկա

Բ. Լ. Իսնիքյան—Հեղուկների շնաստատման շարժման ուժի մը ակադեմիկ հիդրո-
տուրբիններում (Հաղորդում 1)

3

Հիդրոսեյսմոլոգիա

Ի. Վ. Լիզիսկայան—Ջրային ռեսուրսները և պայթարը մանր ու խոշոր հրամբար-
ներից չորի զոլորդիացման դեմ

17

Շինարարական կոնստրուկցիաներ

Վ. Վ. Փինուջյան, Հ. Ս. Կսենցյան, Ռ. Ս. Լևկոտիայան—Լարսի քաղաքի հեծանների
ստատիկական և հոգնածային ամրութիւնը (Հաղորդում 2)

35

Ինժեներական սեյսմոլոգիա

Ս. Ա. Փիլուզյան—Պրոֆիլային դիտարկումների վրա հիմնված ուղիղ միկրոշեր-
քանացման մասին

43

Ֆիզիական սեյսմոլոգիա

Ա. Ս. Գառգարյան, Ն. Իվայրյան—Մասնիկների կաշկաւղված աւելումը ՏԱԼ մաս-
նիկներէ: Պոնդոմանիկի հիպոթեզի ստուգումը փորձերի միջոցով (Հաղոր-
դում 3)

53

Ֆիզիական երբեր

Մ. Գ. Խաչիյան—Փորրադարարիտ հեղուկային ալիսիւնը դրա՞նք

65

СОДЕРЖАНИЕ

Гидроэнергетика

- Б. Л. Бунятян.* Неуставившийся режим движения жидкости в реактивных гидротурбинах (сообщение 1) 2

Гидротехника

- И. В. Егиазаров.* Водные ресурсы и борьба с испарением воды с поверхности малых и больших водоемов 13

Строительные конструкции

- В. В. Пинаджян, Г. М. Канемян, Р. С. Аветисян*—Статическая и усталостная прочность струнотонных балок (сообщение 2) 35

Инженерная сейсмология

- С. А. Пирюзян.* О сейсмическом микрорайонировании на основе инструментальных наблюдений 43

Химическая технология

- А. М. Гаспарян, Н. С. Икарян*—Степенное падение частиц (сообщение 5) 53

Научные заметки

- М. Г. Хачиян*—Малогобаритный жидкостный акселерограф 65