

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՌԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ
ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ
АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ԽՄԲԱՂԱՐԱԿԱՆ ԿՈՒՆԵՐԻԱ

Աղունց Հ. Տ. (պատ. խմբագրի տեղակալ), Անտոնյան Ա. Կ.,
Գառավարյան Ա. Մ., Եղիազարյան Ի. Վ., Կասյան Մ. Վ., Խուլու-
վերդյան Վ. Մ., Կազարյան Ա. Գ. (պատ. խմբագիր), Սիմոնով
Մ. Ջ., Փիլիպյան Վ. Վ. (պատ. քարտուղար)։

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Ашотц И. Т. (зам. отв. редактора), Анонян А. К., Гаспа-
рян А. М., Егиазаров И. В., Касьян М. В. Назаров А. Г.
(отв. редактор), Филиппян В. В. (отв. секретарь), Симонов
М. З., Худавердян В. М.

ГИДРАВЛИКА

В. Н. ЖАМАГОРЦЯН

ДВИЖЕНИЕ ВОЛНЫ ВДОЛЬ БОКОВОГО ВОДОСЛИВА

При внезапной остановке движения воды в конце водовода возникает положительная волна, двигающаяся по бьефу, против первоначального установившегося движения. Это обстоятельство вызывает необходимость при назначении размеров водоводов учитывать накладывающуюся на расчетный установившийся горизонт высоту волны. Внезапный полный сброс нагрузки гидроэлектростанции является тем характерным расчетным случаем практики, когда создается опасность переполнения деривационного канала. Наличие бокового водослива в конце деривационного канала позволяет уменьшить (срезать) высоту волны, благодаря сбросу через водослив части волнового расхода. Уменьшение высоты волны с одной стороны связано с удешевлением сооружения, с другой — с улучшением работы безнапорных тоннелей, если таковые имеются на деривации, так как при этом возможно избежать захлебывания тоннеля.

В основу существующих методов изучения неустановившегося движения положено предположение о том, что движение одномерное и плавно изменяющееся. Законы движения волны вдоль бокового водослива относятся к разделу гидравлики неустановившегося движения с изменением расхода вдоль пути [1, 2]. В этом случае уравнение движения дополняется уравнением неразрывности:

$$\frac{\partial F}{\partial t} + v \frac{\partial F}{\partial x} + F \frac{\partial v}{\partial x} \pm q = 0, \quad (1)$$

где q — расход, отделяющийся или присоединяемый на единице длины бокового водослива.

Раздел гидравлики переменной массы сравнительно молодой. Существующие работы в этой области в основном касаются вопросов установившегося движения. В области исследования волнового движения вдоль бокового водослива имеется мало работ. К этим работам относятся исследования К. Дриоли [3], Д. Читрини [4], Б. Джентилини [5].

Дриоли делит длину порога бокового водослива на n участков и рассматривает движение по участкам. Расчет основан на составлении уравнений движения и неразрывности по средним значениям основных гидравлических величин для каждого участка. Переходя от од-

ного участка к другому, автор находит величину средней высоты волны после бокового водослива.

Читрини исходит из дифференциальных уравнений движения и неразрывности. Он решает задачу при помощи уравнений характеристик, интегрируя их по методу конечных разностей. Решение получает для прямоугольного русла, причем конечную разность принимает равной длине порога бокового водослива.

Работа Джентилини относится к экспериментальному исследованию этого вопроса в лабораторных условиях.

Хотя работы указанных авторов немного продвинули вопрос вперед, но точность результатов недостаточна для практического использования, а самые расчеты трудоемки. Поэтому в настоящей работе ставится цель получить удобные и достаточно точные для практического применения расчетные зависимости.

Известно, что мгновенный профиль положительной волны, возникшей в результате резкого изменения расхода, характеризуется резким повышением уровня в пределах лба волны, что позволяет практически считать лоб вертикальным. Такие волны называются прерывными [6, 7]. Кроме того, положительная волна в этом случае имеет ряд передовых валов (рис. 1). Фавр на основании своих опытов дал график зависимости $\frac{z_{\max}}{z} = f\left(\frac{z}{H_0}\right)$, между максимальной высотой волны $z_{\max}$, средней высотой волны z и первоначальной глуби-

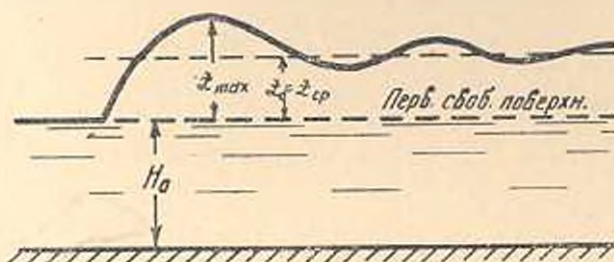


Рис. 1

ной установившегося движения H_0 . Аналогичную связь приводит также Джентилини. Базен оценивал этот максимум как $z_{\max} = \frac{3}{2} z$. Для этого же случая скорость распространения лба волны выражается по известной формуле:

$$C = \sqrt{gH_0} \left(1 + \frac{3}{4} \frac{z}{H_0} \right) \pm v_0 \quad (2)$$

а перемещаемый волной расход

$$\Delta Q = zCB \quad (3)$$

Условие отражения волны в различных случаях определяется двумя уравнениями, а именно равенством расходов до и после отра-

жения и условием непрерывности кривой свободной поверхности [8]. При рассмотрении движения волны вдоль бокового водослива на канале прямоугольного сечения, возникшей при внезапной полной остановке движения, принимается, что уклон дна канала и потери в пределах бокового водослива незначительны и ими можно пренебречь: порог бокового водослива параллелен дну канала.

Движение принимается одномерным, в уравнение неразрывности вводится коэффициент частично учитывающий то обстоятельство, что распространение изменения расхода, вызванного сливом воды с порога бокового водослива происходит не мгновенно по всей ширине потока. Возможность допущения одномерности подтверждается опытами, которые показывают, что фронт волны при прохождении вдоль бокового водослива практически остается перпендикулярным к направлению движения. При решении задачи параметры волны до водослива в силу известных теорий неустановившегося движения, с неизменным расходом вдоль пути, считаются заданными. Нужно отметить, однако, что даже при вышеуказанных ограничениях и допущениях строгое теоретическое решение вопроса затруднительно.

Пусть ширина канала будет B , длина порога бокового водослива L , скорость установившегося движения v_0 , расход Q_0 , глубина H_0 . Предположим, что благодаря внезапному закрытию щитов возникла обратная положительная волна со средней высотой z_0 , перемещающаяся со скоростью C_0 , определяемой по (2). Волна, двигаясь вдоль бокового водослива, будет деформироваться и будет терять часть волнового расхода и высоты, благодаря сливу воды через порог бокового водослива. Обычно расход через боковой водослив при установившемся движении выражают через глубину на пороге — в начале или в конце водослива. В данном случае боковой водослив постепенно включается в работу, поэтому принимается формула для расхода „прямого“ водослива с введением коэффициента σ , учитывающего разницу между коэффициентом расхода m установившегося движения на „прямом“ водосливе и коэффициентом расхода при неустановившемся движении вдоль бокового водослива того же профиля, а именно:

$$Q = \sigma mb \sqrt{2gh}^{3/2}. \quad (4)$$

Если вместо h подставить среднюю высоту z_0 , то из-за степени $\frac{3}{2}$ следует ожидать $\sigma \gg 1$, так как по отношению к средней высоте действительный профиль волны, показанный на рис. 1, даст большой расход. Обозначим через $z_1 = y_0$ — высоту волны, а через Q_1 — волновой расход в сечении на расстоянии x , считая от нижнего конца бокового водослива. Предположим, что при продвижении волны на расстояние Δx за время Δt , высота волны z_1 уменьшается на Δy

(рис. 2). Это изменение в виде отрицательной волны будет распространяться как поперек течения, так и по течению. Следует обратить внимание на то, что отрицательная волна, дойдя до закрытого конца, отразится полностью почти с удвоенной высотой и что в последующих за лбом сечениях должно произойти дальнейшее уменьшение высоты волны. Это упрощает задачу, позволяя следить

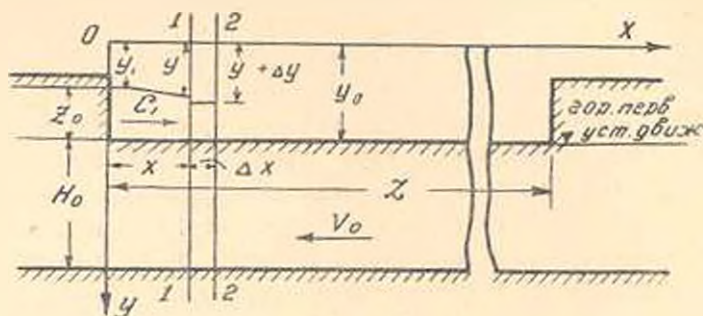


Рис. 2.

только за первым ходом волны, т. е. проследить за изменением высоты волны, двигаясь вместе с ее лбом. Для распространения отрицательной волны от порога до противоположной стенки потребуются хотя и незначительное, но некоторое неизвестное время, в течение которого фронт волны вдоль оси несколько переместится. Сливающийся объем через боковой водослив разместится и параллелепипеде, ребро которого будет не перпендикулярным, а несколько наклонным к оси канала. Если имело бы место мгновенное распространение, то параллелепипед был-бы правильным с ребром, перпендикулярным к оси канала и равным его ширине B . Следовательно, в предыдущем случае мы вправе считать параллелепипед неправильным и с ребром равным pB , где p некоторый коэффициент > 1 , который должен определяться опытами. Скорости распространения положительной обратной и отрицательной прямой волны в створе 1—1 обозначены соответственно C_{1x} и C_{2x} . Рассмотрим изменение массы, заключенной в выделенном объеме между сечениями 1—1 и 2—2. Масса воды, вошедшей в выделенный объем, равна

$$\rho Q_0 \Delta t + \rho C_{2x} p B \Delta y \Delta t,$$

а масса вышедшей воды —

$$\rho m \int_0^{\Delta x} 2g(y_0 - y - \Delta y)^2 \Delta x \Delta t.$$

Приращение массы, первоначально заключенной в выделенном объеме между сечениями 1—1 и 2—2, за тот же промежуток времени равно

$$\rho(y_0 - y - \Delta y) p B \Delta x.$$

Приравнявая последнее выражение разности между поступившей и вышедшей массами, переходя к пределу, получим:

$$Q_x + pBC_{2x}dy - \pm m\sqrt{2g}(y_0 - y - dy)^{3/2}dx - pB(y_0 - y)\frac{dx}{dt} + \\ + pB\frac{dx}{dt}dy = 0. \quad (5)$$

Но $\frac{dx}{dt}$ представляет собой скорость распространения обратной положительной волны в створе $l=1$, т. е. C_{1x} и $pB(y_0 - y)C_{1x} = Q_x$. С другой стороны выражение $[(y_0 - y) - dy]^{3/2}$ можно разложить в ряд по степеням dy . Подставляя эти значения в уравнение (5) и отбрасывая бесконечно малые высших порядков, получим:

$$pB(C_{1x} + C_{2x})dy - \pm m\sqrt{2g}(y_0 - y)^{3/2}dx = 0;$$

здесь $y_0 - y = z$ и $-dy = dz$, следовательно

$$pB(C_{1x} + C_{2x})dz + \pm m\sqrt{2g}z^{3/2}dx = 0. \quad (6)$$

Для интегрирования уравнения (6) нужно найти функции $C_{1x} = C_{1x}(x)$ и $C_{2x} = C_{2x}(x)$. Если принять

$$\frac{1}{L} \int_0^L C_{1x}(x) dx + \frac{1}{L} \int_0^L C_{2x}(x) dx = C_{1cp} + C_{2cp} = 2C_{cp}, \quad (7)$$

то после интегрирования (6) в пределах от 0 до L и преобразования, получим:

$$K = \frac{z}{z_0} = \frac{1}{\left(1 + \frac{\pm m\sqrt{2}}{4p} \frac{\sqrt{gz_0} L}{C_{cp} B}\right)^2}, \quad (8)$$

где z — соответствует средней высоте волны после бокового водослива (после уменьшения);

K — коэффициент, показывающий относительное уменьшение первоначальной высоты волны z_0 боковым водосливом. Его будем называть коэффициентом уменьшения.

К аналогичному выражению можно прийти, если исходить из дифференциального уравнения движения

$$\frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial H}{\partial x} = 0,$$

и уравнения неразрывности

$$v \frac{\partial H}{\partial x} + H \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{q}{B} = 0,$$

где q — отделяющийся (сливающийся) расход на единицу длины, равный

$$q = \pm m\sqrt{2g}z^{3/2}.$$

С учетом выражений для полных дифференциалов

$$dH = \frac{\partial H}{\partial x} dx + \frac{\partial H}{\partial t} dt$$

и

$$dv = \frac{\partial v}{\partial x} dx + \frac{\partial v}{\partial t} dt$$

получим уравнения характеристик в следующем виде:

$$\frac{dx}{dt} = v \mp \sqrt{gH}. \quad (9)$$

$$\left(\frac{dx}{dt} - v \right) \frac{dH}{dt} + H \frac{dv}{dt} + \frac{\sigma m \sqrt{2g}}{B} z^{1/2} \left(\frac{dx}{dt} - v \right) = 0. \quad (10)$$

Сокращая и подставляя значение $\frac{dx}{dt}$ из (9), получим:

$$\mp \sqrt{gH} \frac{dH}{dt} + H \frac{dv}{dt} + \frac{\sigma m \sqrt{2g}}{B} z^{1/2} \sqrt{gH} = 0. \quad (11)$$

Если принимать скорость волны постоянной, т. е.

$$\frac{dx}{dt} = v \mp \sqrt{gH} = C = \text{const.}$$

то тогда

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{1}{2} \sqrt{\frac{g}{H}} \frac{dH}{dt}.$$

Подставляя это значение в (11), получим:

$$\frac{dH}{dt} + \frac{2\sigma m \sqrt{2g}}{B} z^{1/2} = 0. \quad (12)$$

С другой стороны, учитывая что $dH = dz$ и $dx = Cdt$ после интегрирования (12) в пределах от 0 до L , получим:

$$K = \frac{z}{z_0} = \frac{1}{\left(1 + \frac{2\sigma m \sqrt{2g}}{B} \sqrt{\frac{L}{C}} \right)^2}, \quad (13)$$

Как видно, разница между (8) и (13) заключается только в постоянном множителе в знаменателе. В дальнейшем основным выражением для K будем считать формулу (8), так как (13) было получено для структурного подтверждения (8).

Далее нас должно интересовать как изменяются скорости $C_{1x} = C_{1x}(x)$ и $C_{2x} = C_{2x}(x)$ вдоль x и возможность определения их средних значений по x . Для этого рассмотрим (7) почленно.

Скорость распространения обратной положительной волны, согласно (2), будет:

$$C_{1x} = V \sqrt{gH_0} \left(1 + \frac{3}{4} \frac{z_x}{H_0} \right) - v_0 \quad (14)$$

но так как $Q_x = Q_x(x)$, значит и $z_x = z_x(x)$. Введем обозначение

$$Q_x = \beta_x Q_0 \quad (15)$$

где β_x — некоторый переменный вдоль длины порога бокового водослива коэффициент относительного уменьшения волнового расхода. Подставляя значение β_x из (15) в (14) с учетом выражения для волнового расхода (3), произволя некоторые преобразования и отбрасывая корень квадратного уравнения со знаком минус, как не имеющий смысла, получим

$$C_{1x} = \frac{V \sqrt{gH_0}}{2} \left[1 - Fr + \sqrt{1 + Fr(3\beta_x - 2) + Fr^2} \right] \quad (16)$$

где $Fr = \frac{v_0}{V \sqrt{gH_0}}$ число Фруда.

Отсюда следует, что C_{1x} зависит от β_x , значение которого вдоль порога изменяется в сторону уменьшения. С учетом (3) можно написать, что

$$\beta_x = \frac{Q_x}{Q_0} = \frac{z_x}{z_0} \frac{C_{1x}}{C_0}$$

Вдоль порога z_x и C_{1x} могут изменяться в следующих пределах

$$z_0 > z_x > 0 \text{ и } C_0 > C_{1x} > V \sqrt{gH_0}(1 - Fr).$$

Следовательно β_x в основном изменяется от $\frac{z_x}{z_0}$. На основании вышеизложенного для определения β_x , как первое приближение, принимает ся $\frac{C_{1x}}{C_0} = 1$. Тогда с таким же приближением получим:

$$\beta_x = \frac{z_x}{z_0} \cdot \frac{C_{1x}}{C_0} = K_x \quad (17)$$

где K_x в силу (8) будет равно

$$K_x = \frac{1}{\left(1 + \frac{\pi m \sqrt{2}}{4p} \frac{V \sqrt{gz_0}}{C_0} \frac{x}{B} \right)^2} \quad (18)$$

Таким образом с учетом (17) и (18), (16) примет вид:

$$C_{1x} = \frac{V \sqrt{gH_0}}{2} \left[1 - Fr + \sqrt{1 + Fr \left[\frac{3}{\left(1 + \frac{\pi m \sqrt{2}}{4p} \frac{V \sqrt{gz_0}}{C_0} \frac{x}{B} \right)^2} - 2 \right] + Fr^2} \right] \quad (19)$$

После интегрирования (19) в пределах от 0 до L и введения новых обозначений

$$\sqrt{1 + Fr + Fr^2} = A, \quad 1 + \frac{2m\sqrt{2}}{4p} \frac{\sqrt{gz_0}}{C_0} \frac{L}{B} = D, \quad \sqrt{3Fr + (1 - Fr)^2 D^2} = R \quad (20)$$

получим:

$$C_{1cp} = \frac{\sqrt{gz_0}}{2} \left\{ 1 - Fr + \frac{1}{D-1} \left[R - A - \sqrt{3Fr} \ln \frac{\sqrt{3Fr} + R}{(\sqrt{3Fr} + A)D} \right] \right\} \quad (21)$$

По формуле (21) можно будет методом последовательного приближения найти значение C_{1cp} , подставляя каждый раз полученное значение C_{1cp} вместо C_0 в выражение для D . Однако, цифровые подсчеты показывают, что практически нет смысла уточнять C_{1cp} после первого приближения.

Скорость распространения отрицательной волны по (2) равна

$$C_{2x} = \sqrt{g(H_0 + z_x)} \left(1 + \frac{3}{4} \frac{z_x}{H_0 + z_x} \right) + v, \quad (22)$$

где z_x — высота отрицательной волны, которая по сравнению с $H_0 + z$, незначительна. Пренебрегая членами, содержащими $\frac{z_x}{H_0 + z_x}$ и $\left(\frac{z_x}{H_0}\right)^2$ как малого порядка по сравнению с другими членами и учитывая, что $z_x = z_0 K$, получим:

$$C_{2x} = \sqrt{gH_0} \left(1 + \frac{z_0 K_x}{2H_0} \right) + v, \quad (23)$$

где v — скорость частиц под волной, имеющая одинаковое направление с C_{2x} . Значение v определяется из следующего выражения:

$$v = \frac{Q_0 - Q_x}{B(H_0 + z_x)} = \frac{(1 - \beta_x) v_0}{1 + \beta_x \frac{v_0}{C_{1x}}} \quad (24)$$

Ввиду того, что порог водослива имеет конечную длину и через него сливается только часть волнового расхода, по длине порога поэтому $0 > \beta > \beta_0$. Иначе говоря, в начале порога $\beta_x = 1$ и числитель (24) равен нулю, а второй член в знаменателе $\beta_x \frac{v_0}{C_{1x}}$ имеет максимальное

свое значение, т. е. $\frac{v_0}{C_0}$ (последнее всегда меньше единицы). Далее, в

связи со сбросом воды через боковой водослив, β_x вдоль порога уменьшается, числитель (24) увеличивается, а знаменатель уменьшется. В случае бесконечной длины порога $\beta_x = 0$, числитель (24) равен v_0 , а $\beta_x \frac{v_0}{C_{1x}} = 0$, следовательно, можно принимать, что

$$v = (1 - \beta_x) v_0.$$

Учитывая последнее, а также (17) и (20), после интегрирования (23) в пределах от 0 до L , получим:

$$C_{гр} = \sqrt{gH_0} \left(1 + \frac{z_0}{2H_0D} \right) + v_0 \left(1 - \frac{1}{D} \right) \quad (25)$$

Как и в случае (21) здесь, при решении практических задач, достаточно первое приближение, что подтверждается подсчетами.

Согласно (7) окончательно получим:

$$C_{гр} = \frac{\sqrt{gH_0}}{4} \left\{ 3 + \frac{z_0}{H_0D} - Fr \left(\frac{2}{D} - 1 \right) + \frac{1}{D-1} \left[R - A - \sqrt{3Fr} \ln \frac{\sqrt{3Fr} + R}{(\sqrt{3Fr} + A)D} \right] \right\} \quad (26)$$

Таким образом нетрудно видеть, что K выражается через следующие безразмерные соотношения:

$$K = K \left(\frac{m}{\rho}, \frac{z_0}{H_0}, \frac{L}{B}, \frac{v_0}{\sqrt{gH_0}} \right).$$

Величины L , B , m , v_0 , H_0 , C_0 и z_0 или заданы или же могут быть определены по формулам для неустановившегося движения с неизменным расходом вдоль пути. Что касается коэффициентов α и ρ , то значения их нужно определить экспериментально.

Определяя $C_{гр}$ из (26) и подставляя в (8), найдем значение K . Далее, средняя высота волны после бокового водослива определяется как $z = z_0 K$. Зная z при помощи графической зависимости $\frac{z_{max}}{z} = f \left(\frac{z}{H_0} \right)$ можно установить искомую величину z_{max} . На рис. 3

приводится график значений K , полученных из опыта и по расчету. Приведенные данные соответствуют разным геометрическим размерам поперечного сечения потока и длинам порога бокового водослива.

Кроме опытных данных автором приведены также опытные данные Джентилини, взятые из его таблиц [5], и соответствующие расчетные значения, полученные по формулам (26) и (8). Как видно из графика, результаты данных опыта и расчета удовлетворительно сходятся.

Приведем качественную оценку правильности структуры выражения (8).

Если $L = 0$ то отсутствует слив воды. Следовательно величина z не

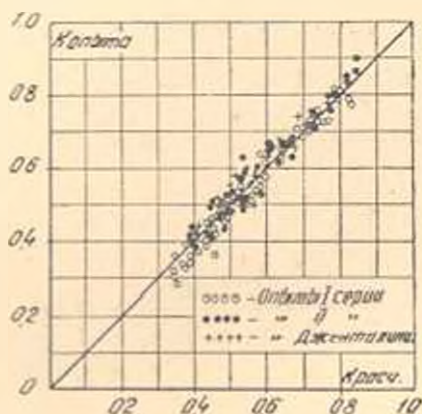


Рис. 3. Сопоставление опытных и расчетных значений K .

должна уменьшаться. Действительно из (8) вытекает, что если $L = 0$, то $K = 1$, следовательно $z = z_0$. Если L стремится к бесконечности, то высота z будет стремиться к нулю. Действительно, из (8) вытекает, что если L стремится к бесконечности, то $K = 0$, следовательно $z = 0$.

В связи с этим интересно отметить, что формула Читрини для крайних значений длины порога бокового водослива L дает результат, противоречащий природе явления. Так, полученное выражение Читрини имеет вид*:

$$y_f(y_f - 1) \left| 1 + \frac{3}{4}(y_f - 1) \right| + (y_f^2 - y_f^2) \sqrt{\frac{1}{8}(y_f + y_f)} - \\ - y_f(y_f - 1) \sqrt{\frac{1}{8}(y_f + 1)} - \\ - \frac{\pi L}{2B} A(y_f + y_f)^2(y_f + y_f - 2) \\ \frac{y_f + y_f + A(y_f^2 - 1) \sqrt{\frac{1}{8}(y_f + 1)} + A(y_f - 1) \left| 1 + \frac{3}{4}(y_f - 1) \right|}{\sqrt{\frac{1}{8}(y_f + y_f)(y_f + y_f - 2)}} + \\ + \frac{A(y_f + y_f) \sqrt{\frac{1}{2}(y_f - y_f)}}{A(y_f + y_f) \sqrt{\frac{1}{2}(y_f - y_f)}} = 0,$$

где $A = \frac{\sqrt{gH_0}}{c_b}$, $y_f = 1 + \frac{z}{H_0}$, $y_i = 1 + \frac{z_0}{H_0}$.

Если $L = 0$, то $z \neq z_0$. $K \neq 1$ (уравнение дает не однозначное решение).

Если L стремится к бесконечности, уравнение дает два решения $z = -z_0$, $z = -(2H_0 + z_0)$ и $K = -1$, $K = -\left(1 + \frac{2H_0}{z_0}\right)$. Ясно, что ни то ни другое значение не действительно, так как z не может быть меньше нуля.

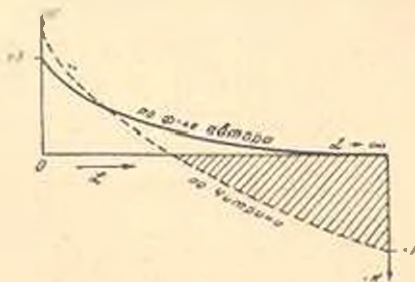


Рис. 4.

На рис. 4 приведены схематические кривые, построенные по двум значениям K , соответствующим предельным значениям L . Кривая (сплошная) $K = K(L)$, полученная по (8), как выше было показано, на концах имеет действительные значения ($L = 0$, $K = 1$; $L = \infty$, $K \rightarrow 0$) и только во внутренней части кривая может иметь

некоторое отклонение от действительных значений, в силу тех допу-

* Обозначение Читрини.

щений, которые были сделаны при получении выражения K . Крайние значения аналогичной пунктирной кривой, полученной по формуле Читрини, отклоняются в разные стороны от действительных значений K . На рис. 4 показано только одно значение нижнего конца кривой. Очевидно при втором значении K , когда L стремится к бесконечности, кривая опустится еще ниже, т. е. на величину $\frac{2H_0}{z_0}$.

Далее вполне логично, что для малых значений C_{cr} или B , K по (8) получается меньше. Все вышесказанное подтверждает правильность структуры формулы (8) для коэффициента K .

Рассмотрим теперь выражение (21). Если L стремится к нулю, то C_{cr} должна стремиться к C_0 . Но когда L стремится к 0, D стремится к 1, по (21) получится неопределенность. Раскрывая ее по-членно, получим:

$$\lim_{D \rightarrow 1} \frac{1}{D-1} (R-A) = \frac{(1-Fr)^2}{\sqrt{1+Fr+Fr^2}},$$

а для другого члена применяя правило Лопиталя, найдем:

$$\lim_{D \rightarrow 1} \frac{\sqrt{3Fr}}{D-1} \ln \frac{\sqrt{3Fr}+R}{(\sqrt{3Fr}+A)D} = -\frac{3Fr}{\sqrt{1+Fr+Fr^2}}.$$

Следовательно

$$\lim_{D \rightarrow 1} C_{1cr} = C_0 = \frac{\sqrt{gH_0}}{2} (1 - Fr + \sqrt{1+Fr+Fr^2}) \quad (27)$$

Легко видеть, что и случае $x=0$, т. е. $Q_x = Q_0$. ($\phi_x = 1$) выражение (16) превратится в (27).

Если L стремится к бесконечности, то z стремится к 0. В этом случае D стремится к бесконечности и по (21) получится неопределенность. Но так как

$$\lim_{D \rightarrow \infty} \frac{1}{D-1} (R-A) = 1 - Fr \text{ и } \lim_{D \rightarrow \infty} \frac{\sqrt{3Fr}}{D-1} \ln \frac{\sqrt{3Fr}+R}{(\sqrt{3Fr}+A)D} = 0,$$

то получим:

$$\lim_{L \rightarrow \infty} C_{1cr} = \sqrt{gH_0} = v_0.$$

Тот же результат, когда z стремится к 0, получится из (14).

Перейдем к анализу выражения (25). Если $L=0$, то $D=1$, значит

$$C_{cr} = \sqrt{gH_0} \left(1 + \frac{1}{2} \frac{z_0}{H_0} \right).$$

Если L стремится к бесконечности, то D также стремится к бесконечности, и тогда

$$C_{20} = 1 \sqrt{gH_0} + v_0.$$

Предположим, что волновому расходу Q соответствует средняя высота волны до бокового водослива z_0 , что величина L рассчитана для обеспечения сброса при установившемся движении того же расхода Q , при напоре воды над гребнем h , определяемого по формулам:

$$Q = ml \sqrt{2g h^3}.$$

Волновой расход Q можно выразить как $Q = Q' + Q_0$, где Q' — волновой расход уменьшенной волны (z), распространяющейся за водосливом, Q_0 — часть расхода, которая сбрасывается при прохождении волны длины порога L .

Обозначим через Q'' фиктивный расход, соответствующий определяемому расходу по формуле:

$$Q'' = ml \sqrt{2g z^3}.$$

Во всяком случае должно быть $Q'' = Q_0$, так как сброс воды при движении волны вдоль порога начинается с высоты $z_0 > z$. Тогда

$$Q_0 = Q - Q' > Q'' \text{ или } Q > Q''.$$

Учитывая значения Q и Q'' , получим $z < h$. Если h считать по формуле бокового водослива, то значение его получится больше, так как коэффициент расхода при этом меньше. Следовательно, при всех случаях, когда длина порога бокового водослива рассчитана для сброса при установившемся движении расхода Q при глубине на пороге h , то какой бы величины ни была средняя высота волны до водослива z_0 , с волновым расходом Q , всегда средняя высота волны после водослива z , меньше чем h . Это значит, что z остается постоянной и меньше h . Она с течением времени под воздействием сил трения и влиянием отражения будет расти до h . С этого момента и наступит установившееся движение. Отсюда следует, что для практики конечной целью расчета должно быть нахождение максимальной высоты волны $z_{\max}$, а следовательно и наивысшей отметки подъема уровня после водослива.

Полученная закономерность относительно z и h подтверждается опытами. Им будет посвящена следующая статья автора.

Վ. Ն. ԺԱՍԱԴՈՐՅԱՆ,

ԱՎԻԱԻ ՇԱՐԺՈՒՄԸ ԿՈՂԱՅԻՆ ՋՐԹԱՓԻ ՆՐԿԱԼՈՒԹՅԱՄԸ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Վ

Ջրատարի վերջում, փականների արագ փակման ժամանակ, օրինակ հիդրոկայանի վթարի դեպքում, սնուչանում է զրական ալիք, որը շարժվում է ջրի սկզբնական հոսանքին հակառակ ուղղությամբ՝ դեպի վեր: Ջրատարի չափերը բնորոշիւ ալի հանգամանքը ստիպում է հաշվի առնել սկզբնական հաստատված հոսանքի հորիզոնին դումարվող զրական ալիքի բարձրությունը:

Հաճախ, ջրատարի վերջում կողալին ջրթափ են կառուցում, որը, իր վրայում հեռացնելով ալիքի ելքի մի մասը, փոքրացնում է նրա բարձրությունը: Ալիքի բարձրության փոքրացումը կապված է ջրատարի չափերի կրճատման և նրա աշխատանքի լավացման հետ:

Կողալին ջրթափի երկարությամբ շարժվող ալիքի ռադումնախիտմանը նվիրված նախորդ հեղինակների աշխատանքներում խնդիրն առաջ է մղված որոշակի, սակայն պրակտիկ կիրառման համար՝ ոչ քաղաքար աստիճանի: Այլ պատճառով ներկա աշխատանքը նպատակ ունի ստանալ հաշվալին պարզ արտահայտություններ, որոնցով կարելի կլինի ինժեներական հաշիւների համար քաղաքար ճշտությունը որոշել ջրթափից հետո ալիքի մնացած բարձրությունը:

Որպես առաջին մոանցավոր դեպք հիմնականում քննարկվում է ուղղանկյուն կտրվածք ունեցող ջրատարի վերջում փականների միանգամից, լրիվ փակման դեպքը:

Թեորետիկ խնդիրը հանգում է զրական ալիքի տարածման պրոցեսի քանակական կողմի որոշմանը, երբ նրանից ճանապարհին անընդհատ տեղի է ունենում մասնալի անջատում:

Հարցի հետազոտումը կատարված է երկու ձևով: Առաջինը՝ ալիքալին ճակատի երկարությունը շարժման անխելիկություն համասարման անմիջական խնտեղուման օգնությամբ: Էնդ որում շարժումը բնորոշված է միաչափ, սակայն անխելիկության համասարման մեջ մտնված է ի դորձակից, որը որոշակիորեն հաշվի է առնում ույն, որ ջրթափի ճնորհիվ առաջացած ելքի փոփոխությունը ի տարածվում ակնթարթորեն ջրատարի ամբողջ լայնությամբ: Այնուհետև, ջրթափի ելքի համար ընդունված է «ուղի» ջրթափի բանաձևը, սակայն, քանի որ կողալին ջրթափը աստիճանաբար է մտնում աշխատանքի մեջ, ապա ախելացնելով 3 դորձակիցը հաշվի է առնվում հաստատված շարժման դեպքում «ուղի» ջրթափի ելքի գորձակցի և չհաստատված շարժման ժամանակ նույն պրոֆիլի կողալին ջրթափի ելքի դորձակցի տարրերությունը: Մյուս լուծումը ստացված է խորակտերիստիկ հավասարումների մեթոդի կիրառման միջոցով:

Եկ. 3 լիւրված է մի ամփոփիչ դրաֆիկ, որը ուսլիւ է փորձերից ստացված և (10) բանաձևով հաշված ալիքի բարձրության փոքրացման դորձակցի՝ K -ի արժեքների համեմատությունը: Ստացված կետերը քաղաքար չափով համընկնում են նրանց համասարման 45-ի տակ տարված ուղիղի հետ: Բերված տվյալները վերաբերում են ջրատարի բնդայնական կտրվածքի տարրեր երկրաչափական չափերին և կողալին ջրթափի տարրեր երկարությունը:

ЛИТЕРАТУРА

1. *Маккавеев В. В., Коновалов Н. В.* Гидравлика, 1940.
2. *Петрова Г. А.* Движение жидкости с изменением расхода вдоль пути, 1951.
3. *Carlo Drivoli.* Esperienze sul moto perturbato nei canali industriali. L'Energia Elettrica, fasci IV e V, 1937.
4. *Duilo Citrini.* Sull'attenuazione di un'onda positiva ad opera di uno sfioratore laterale, L'Energia Elettrica, № 10, 1949.
5. *Bruno Gentilini.* L'azione di uno sfioratore laterale sull'onda positiva ascendente in un canale. L'Energia Elettrica, № 1, 1950.
6. *Иохангсальский В. А.* Расчеты неустановившегося движения в открытых потоках, 1947.
7. *Егiazаров Н. В.* Неустановившееся движение в длинных бьефах. Известия ВНИИГ, № 21, 1937.
8. *Егiazаров Н. В.* Гидроэлектрические силовые установки, III ч., 1937.

ПРИКЛАДНАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ

А. М. МХИТАРЯН

К ОЦЕНКЕ МИНИМАЛЬНОЙ ГЛУБИНЫ
ОЗЕРА СЕВАН С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ИСПАРЕНИЯ

Вопрос о влиянии глубины оз. Севан на испарение с его поверхности очень важен в связи с продолжающимся спуском его уровня. Если в естественных условиях оз. Севан—глубоководный водоем, то со спуском его уровня он станет мелководным. Это приведет к резкому изменению его термического режима. Ход температуры воды станет ближе следовать за ходом температуры воздуха, ход испарения приблизится к ходу температуры поверхности воды, прогрев в летнее время значительно усилится, ныне почти незамерзающее озеро станет замерзающим почти ежегодно. Это приведет к значительному увеличению сумм испарения в теплую часть года и к уменьшению — зимой.

Все это учитывалось еще В. К. Давыдовым [1]. Но при составлении водного баланса оз. Севан им не произведена соответствующая оценка, так как по старой схеме Б. Севан должен был быть полностью осушен, поэтому вопрос увеличения испарения при достаточно быстром завершении спуска Б. Севана тогда не имел бы значения. Сейчас, в связи с необходимостью сохранить уровень оз. Севан на достаточно высокой отметке, такая оценка совершенно необходима.

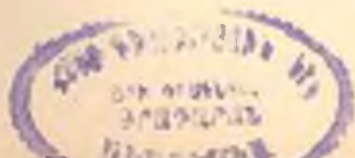
Хотя в литературе имеется понятие о глубоководных и мелководных водоемах, все же нет критерия, характеризующего переход между ними. Он зависит, очевидно, от многих факторов, определяющих гидрометеорологический режим водоемов.

В условиях Севана можно предложить много различных определений, остановимся на двух:

1) Глубоководным считается водоем, дно которого не принимает участия в процессах теплообмена, в отличие от мелководного, дно которого принимает активное участие в формировании его термического режима

2) Глубоководным считается водоем, который, как правило, не замерзает, в отличие от мелководного, который почти всегда замерзает.

Нам представляется возможным оценить глубину, при которой дно примет значительное участие в испарении с поверхности водоема и грубо оценить при этом суммы испарения в годовом разрезе, от-



мечая, что при дальнейшем спуске испарение станет значительно большим.

Поставим для этого следующую задачу. Известен годовой ход температуры поверхности воды. Определить глубину в условиях Севана, до которой проникают поверхностные температурные возмущения. Напишем уравнение теплопроводности в турбулентном движении жидкости

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k' \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k' \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \varepsilon. \quad (1)$$

Здесь x, y, z — координаты точки, начало координат расположено на поверхности, z — направлено вертикально вниз, t — время; T — температура; u, v, w — компоненты скорости; ε — приток тепла; k' и k — коэффициенты турбулентной теплопроводности по горизонтали и вертикали соответственно.

В условиях Севана это уравнение можно в первом приближении заменить более простым уравнением

$$\frac{\partial T}{\partial t} = k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}. \quad (2)$$

Из всех допущений наиболее существенным является условие $k = \text{const}$. В настоящее время в условиях Севана этот коэффициент изучается, и скоро будет получена зависимость

$$k = k(z), \quad (3)$$

что дает возможность внести первое уточнение.

Представим температуру в виде

$$T = \bar{T} + T' (z, t). \quad (4)$$

$\bar{T}$ — некоторая средняя температура, T' — отклонения температуры. Тогда ясно, что T' определяется из уравнения

$$\frac{\partial T'}{\partial t} = k \frac{\partial^2 T'}{\partial z^2}. \quad (5)$$

Граничные условия имеют вид:

$$\begin{aligned} T' &= T'_0(t) \quad \text{при } z=0, \\ T' &= 0 \quad \text{при } z \rightarrow \infty. \end{aligned} \quad (6)$$

Представим $T'_0(t)$ — отклонения температуры поверхности воды (известная функция времени) от среднего ее значения, в виде ряда Фурье.

$$T'_0 = \sum_{n=0}^{\infty} [a_n \cos(n\Omega t) + b_n \sin(n\Omega t)]. \quad (7)$$

Здесь a_n и b_n — постоянные коэффициенты; $\Omega = 2.10^{-7}$ 1/сек. — угловая скорость вращения Земли вокруг Солнца.

Решение уравнения (5) ищем в виде:

$$T(z, t) = \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ e^{-z_n^2 t} [A_n \cos(n\Omega t - z_n z) + B_n \sin(n\Omega t - z_n z)] \right\}. \quad (8)$$

При этом условие на бесконечности удовлетворено, условие на $z = 0$ дает $A_n = a_n$ и $B_n = b_n$, а подстановка (8) в (5) дает

$$z_n = \sqrt{\frac{n\Omega}{2k}}. \quad (9)$$

Тогда получается следующее решение

$$T(z, t) = \sum_{n=0}^{\infty} e^{-z^2 \sqrt{\frac{n\Omega}{2k}}} \left[a_n \cos\left(n\Omega t - z \sqrt{\frac{n\Omega}{2k}}\right) + b_n \sin\left(n\Omega t - z \sqrt{\frac{n\Omega}{2k}}\right) \right]. \quad (10)$$

Пример. Согласно данным наблюдений в нижеследующей таблице 1 приводятся отклонения температуры поверхности воды.

Таблица 1

Месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Средн.
T_0	3,4	1,8	1,5	3,3	7,6	13,2	16,7	17,9	17,2	14,2	10,5	6,4	9,5
T_0'	-6,4	-7,7	-8,0	-6,2	-1,9	3,7	7,2	8,4	7,7	4,7	1,0	-3,1	0

Далее строится кривая $T_n = f(\Omega t)$ и по ней берутся значения T , через каждые $\Omega t = 15^\circ$. Эта функция разлагается в ряд Фурье и определяются a_n , b_n . Далее по формуле

$$T(z, t) = a_0 + \sum_{n=1}^6 e^{-z^2 \sqrt{\frac{n\Omega}{2k}}} [a_n \cos(n\Omega t - z \sqrt{\frac{n\Omega}{2k}}) + b_n \sin(n\Omega t - z \sqrt{\frac{n\Omega}{2k}})] \quad (11)$$

восстанавливается $T(z, t)$, при различных значениях z , причем

$$z = 1 \sqrt{\frac{\Omega}{2k}} z. \quad (12)$$

В случае молекулярной теплопроводности $k = 10^{-4}$ м²/сек. Подставляя значения k и Ω в (12), получим $z = 3.15z$.

В случае же турбулентного перемешивания коэффициент обмена переменный, для приповерхностных слоев имеет порядок

$k = 10^{-4} \text{ м}^2/\text{сек}$; далее с глубиной он уменьшается и приближается к k_0 . Расчеты по различным методам позволяют принять для среднего значения этого коэффициента величину $k = 3 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{сек}$. При этом $z \approx 17,3 \text{ м}$. В таблице 2 представлены глубины для соответствующих номеров кривых рис. 1.

z — безразмерная глубина,

z — глубина в метрах при молекулярной теплопроводности,

z_1 — глубина в метрах при турбулентном перемешивании.

Таблица 2

№№ кривых	1	2	3	4	5	6	7	8
z	0,0	0,1	0,3	0,5	0,7	1,0	2,0	3,0
z	0,0	0,31	0,94	1,57	2,20	3,15	6,28	9,42
z_1	0,0	1,73	5,20	8,63	12,10	17,31	34,62	51,81

Результаты этих расчетов представлены на рис. 1 и 2. На рис. 1 представлен годовое ход температуры на различных глубинах; на рис. 2 — профили для различных месяцев. Рис. 1 и 2 показывают, что даже для случая грубого анализа температурные возмущения проникают до глубин порядка 20—30 м, но амплитуды колебаний на этих

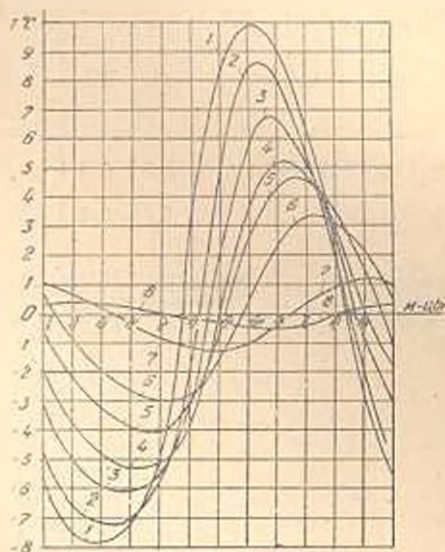


Рис. 1. Годовой ход температуры воды на различных глубинах.

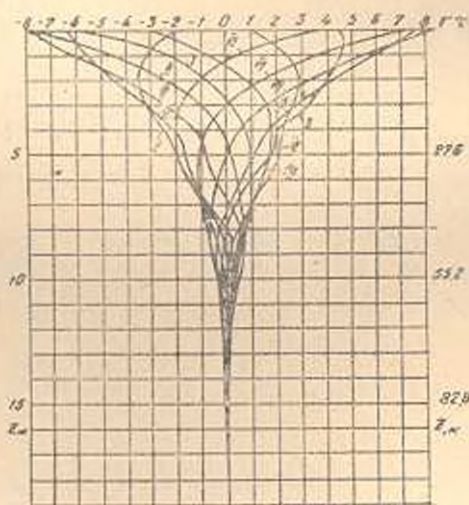


Рис. 2. Вертикальные профили температуры воды в различные месяцы.

глубинах практически небольшие. Если считать амплитуды в $\pm(3-4)^\circ\text{C}$ допустимыми, чтобы дно стало принимать активное участие в теплообмене, то глубину снизу следует ограничить величиной порядка 18—20 м. При глубинах меньше 18—20 м испарение будет увеличиваться, влияние дна станет значительным.

Следует отметить два обстоятельства. Во-первых, при стоянии озера с глубиной 18—20 м значительно изменится годово́й ход температуры; во-вторых, в значительной части Б. Севана глубины будут намного меньше 18—20 м, что в свою очередь приведет к увеличению испарения.

Чтобы грубо оценить величину, до которой может увеличиться испарение, предположим, что озеро в своей большей части приблизится к условиям испарительного бассейна, площадью 20 км², установленного на острове. Тогда ясно, что испарение в летние месяцы с озера при глубине 18—20 м будет почти таким, как с бассейна; в зимнее же время будет больше, чем с бассейна.

Пользуясь фактическими данными за 1955 г. (май—ноябрь) и 1956 г. (май—октябрь), восстанавливая испарение за зимние месяцы по формуле бассейна для озера, а также ведя расчет по формуле бассейна для современных условий уреза, несколько уменьшая зимнее испарение, получаем 1100 мм за 1955 г. и 1180 мм за 1956 г. Подобная оценка для испарителя ГГН—3000 в грунте дает 1200 мм только за период май—октябрь. Эти оценки дают основание полагать, что при глубинах порядка 18—20 м со значительной части площади озера испарение будет порядка 1000 мм в год. Поэтому целесообразно ограничить дальнейший спуск озера Севан с оставлением слоя воды не менее 18—20 м, во избежание значительного испарения с его поверхности.

Водно-энергетический институт
АН Армянской ССР

Поступило 26 V 1958

Ա. Մ. ՄԻՔԵՐԱՆՆ

ՍԵՎԱՆԱ ԼՃԻ ՆՎԱԳԱԳՈՒՅՆ ԽՈՐՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ՀԱՐՅԻ ՄԱՍԻՆ՝ ԳՈՂՈՐԾԻԱՑՄԱՆ ՏՆՍԱԿՆՏԻՑ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Սեանա լճի ապագա խորութեան հարցի լուծումը շատ կարևոր է, քանի որ այժմ դեռ չարունակվում է լճի մակարդակի իջեցումը, որի հետևանքով Սեանը մեծ խորութեան ջրամբարից կախող է անցնել փոքր խորութեան ջրամբարի։ Զրի ջերմաստիճանի տարեկան ընթացքը ավելի կրճատեալ ողի ջերմաստիճանի տարեկան ընթացքին, լճի ջրերի տաքացումն ամառվա ընթացքում կուժեղանա, այժմ համարյա չսառչող լիճը կսառչի գրեթե ամեն ձմեռ։ Այդ բոլորը կհանգեցնեն այն բանին, որ առանց այդ էլ մեծ պոլորիացումը լճից ամառվա ամիսներին կդառնա ավելի ինտենսիվ, իսկ ձմեռվա փոքրաքանակ պոլորիացումն ավելի կփոքրանա։ Գոլորջրացումը տարվա ընթացքում անշուշտ կմեծանա։ Այդ բոլոր հարցերը հաշտնի են եղել դեռ Վ. Կ. Դավթիզովին [1], բայց քանի որ Սեանի ջրերի օգտաօգործման հին սխեմայի համաձայն Սեմ Սեանը պետք է չորացվեր ամբողջովին, ապա Սեանի ապագա լճի խորութեան հարցը կարևոր չէր։

Այսինքն Մեծ Սեանի մակարդակը բարձր նիշերի վրա պահելու անհրաժեշտություն պատճառով, այդ հարցը դառնում է առաջնահերթ, ուստի հոգվածում բերվում է այդ խնդրի մոտավոր լուծումը: Հաշիվները ցույց են տալիս, որ Սեանի խորությունը պետք է պահպանել ոչ պակաս 18—20 մ, այսպես նրա մակերևույթից զուրոշիացման քանակը անհամեմատ կմեծանա:

Լուծվում է (6) հավասարումը (6) սահմանային պայմանների դեպքում, լուծումն ստացված է (10) տեսքով:

Վերջում բերված կորերը ցույց են տալիս, որ քրի ջերմաստիճանի տարեկան տատանումների ամպլիտուդան տարածվում է մինչև բավականաչափ մեծ խորություններ: Հոգվածի վերջում տրվում է զուրոշիացման քանակի շահատակներ, հիմնվելով կղզում տեղավորված շՍ բմ մակերես ունեցող զուրոշիացնող ջրափազանի տվյալների վրա:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Давыдов Н. А. Влияние колебаний уровня моря. М.—Л. 1938.

С. Г. САРКИСЯН, С. А. МХИТАРЯН

К РАСЧЕТУ ПИКОВОЙ МОЩНОСТИ И ЕМКОСТИ
БАССЕЙНА СУТОЧНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЕРИВАЦИОННЫХ
ГЭС

Изменение в системе потребления электроэнергии по часам суток требует приведения в соответствии с этим потреблением выработки электроэнергии на электростанциях.

В большинстве случаев регулирование суточной выработки системы осуществляется гидроэлектрическими станциями, которые для этой цели имеют бассейны суточного регулирования БСР. С помощью этих бассейнов, в часы пониженной нагрузки, осуществляется аккумулярование воды с тем, чтобы в часы максимума потребности системы выработать дополнительную энергию. Из сказанного ясно, что степень участия гидростанции в покрытии пика суточной нагрузки системы определяется энергоемкостью бассейна суточного регулирования (БСР).

Сооружение БСР необходимой энергоемкости на данной гидростанции в значительной степени зависит от местных геологических и топографических условий, которые могут оказаться благоприятными на установках отдаленных от центра потребления энергии. При сооружении БСР на данной гидростанции в течение суток в центр потребления передается не только базисная, но и пиковая мощность. Передача значительной по своей величине пиковой мощности и энергии из района выработки ее в район потребления сопровождается их потерями. Следовательно, емкость БСР на гидростанциях, ведущих суточное регулирование в системе должна рассчитываться из условия покрытия как пиковой нагрузки, так и потерь, возникающих при передаче пиковой энергии от ГЭС к центру ее потребления.

Степень участия данной ГЭС в покрытии суточного максимума нагрузки, определяемая энергоемкостью БСР и пиковой мощностью, должна быть экономически обоснованной.

Существующие способы оценки энергоемкости БСР разработаны в связке с выбором мощности, как при изолированно работающей деривационной ГЭС [4], так и при параллельной работе двух гидростанций [5].

Однако, ни в одной из указанных работ не учтен такой важный фактор, как передача энергии от места ее выработки к месту потребления, хотя имеется указание на то, что учет потерь мощности в линиях может привести к неверным суждениям относительно параметров тех или иных объектов и оптимального распределения

активных мощностей между отдельными станциями для каждого момента времени [7].

Вопрос создания БСР, с точки зрения инженерного его решения, находится в зависимости от типа гидростанций. Так, в случае приплотинных ГЭС в результате подпора плотинной верхней бьефи реки образуется русловое водохранилище, в большинстве случаев достаточное для ведения суточного и более длительного регулирования. Решающей в этом случае является технико-экономическая эффективность увеличения высоты плотины. Относительно просто решается задача о создании БСР также в тех случаях, когда емкость его определяется заведомо выгодными местными условиями.

На деривационных гидроэлектростанциях БСР создаются в тех случаях, когда по трассе канала имеются благоприятные геологическо-топографические условия. В противном случае затраты, связанные с получением пиковой энергии, получаются большие и не всегда оправданы.

На основании сказанного можно сформулировать задачи исследования, которые заключаются в разработке способа:

- а) выбора емкости БСР на деривационных гидростанциях из расчета покрытия пиковой нагрузки и потерь энергии при передаче, и
- б) оценки энерго-экономической эффективности участия данной ГЭС в покрытии максимума нагрузки системы с учетом потерь в линиях передачи.

Базисная часть графика нагрузки системы покрывается независимо от емкости БСР на гидростанциях и режима их работы, поэтому в настоящем исследовании рассматривается та часть графика нагрузки системы, которая покрывается за счет накопленной в БСР энергии. Здесь в качестве расчетного принимается суточный график нагрузки системы по максимальной потребности как мощности, так и энергии.

Система предполагается состоящей из высоконапорных деривационных гидростанций, местоположение которых в районе энергоснабжения установлено в результате проектных изысканий (каскад ГЭС не рассматривается). Как было сказано выше, передача значительной мощности от места выработки к центру потребления приводит к ощутимым потерям ее в линиях передачи. Эти потери складываются из потерь активной и реактивной мощностей. Так как потери активной мощности в линиях передачи покрываются дополнительной выработкой генераторов системы, то необходимо увеличение генерирующих мощностей против потребностей нагрузки. В результате возникают дополнительные капиталовложения и ежегодные затраты эксплуатации на генерирующем аппарате системы.

В настоящем исследовании, в силу сказанного, учитываются потери только активной мощности, величину которых нетрудно определить с помощью формулы (2)

$$\Delta P = \frac{P_{\text{max}}^2}{U^2} R, \quad (1)$$

где $P_{\text{max}} = P_{\text{баз}} + P_{\text{пик}}$ — наибольшая суммарная нагрузка данной электростанции в МВт ;

$P_{\text{баз}}$ — базисная нагрузка;

$P_{\text{пик}}$ — пиковая нагрузка;

U — номинальное напряжение передачи в киловольтах, принимаемое в настоящем исследовании неизменным;

R — активное сопротивление линии передачи в омах.

Потери энергии, которые кроме величины потерь мощности (ΔP) определяются временем наибольших потерь мощности τ могут быть подсчитаны с помощью выражения

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta P \tau. \quad (2)$$

В выражениях (1) и (2) величина наибольшей нагрузки (P_{max}) определяется долей участия данной электростанции в покрытии базиса и пика графики нагрузки системы.

Величина τ в выражении (2) равна числу часов, за которое при передаче энергии с наибольшей нагрузкой (P_{max}) потери энергии в линии будут равны действительным потерям энергии в ней в течении года. Это положение можно представить в виде следующего выражения

$$\int_0^{\tau} P dt = P_{\text{max}} \tau.$$

При решении практических задач время наибольших потерь определяется с помощью графиков $\tau = f(h)$ [2], где h — число часов использования наибольшей нагрузки. Для пользования кривыми $\tau = f(h)$ надо знать кроме числа часов использования нагрузки, также и средневзвешенный по системе коэффициент мощности ($\cos \varphi$).

При решении поставленных в настоящем исследовании задач необходимо считаться с влиянием напора гидроэлектростанций на энергоемкость БСР. Если считать, что покрытие пика нагрузки осуществляется двумя деривационными гидроэлектростанциями, то создание БСР, при прочих равных условиях, следует считать целесообразным на той гидроэлектростанции, напор которой больше.

Это положение легко усмотреть из формулы

$$\mathcal{E} = \frac{W_{\text{Б}} - H \tau}{367}. \quad (3)$$

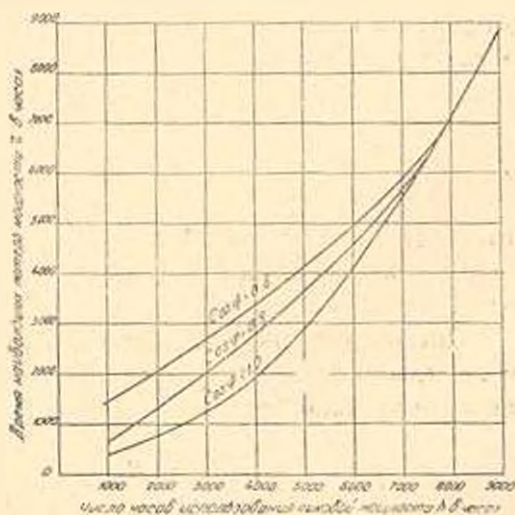


Рис. 1.

которая указывает на то, что энергоемкость БСР, при одинаковых объемах, будет тем большей, чем больше напор данной установки.

В результате, каждая из гидростанций обладает различной возможностью участия в покрытии пиковой нагрузки системы.

Если принять, что потребность в пиковой энергии равна $\mathcal{E}_{\text{пик}}$ и, что эта энергия вырабатывается двумя гидростанциями, то одна из них должна выработать энергию $\mathcal{E}_1$, а вторая — $\mathcal{E}_2$. В величину этих выработок не включены потери передачи, т. е. дана энергия на шинах потребителей. Условие покрытия пика нагрузки по энергии можно записать так:

$$\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 = \mathcal{E}_{\text{пик}}. \quad (4)$$

Учитывая возникающие при передаче этой энергии потери, БСР первой установки должен иметь энергоемкость равную:

$$\mathcal{E}_B = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_{\text{пот},1}$$

а второй — $\mathcal{E}_B = \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_{\text{пот},2}$.

Тогда выражение (4) запишется так:

$$\mathcal{E}_B - \mathcal{E}_{\text{пот},1} - \mathcal{E}_B - \mathcal{E}_{\text{пот},2} = \mathcal{E}_{\text{пик}}. \quad (4')$$

где $\mathcal{E}_B = \frac{W_B H_1 \eta_1}{367}$ и $\mathcal{E}_B = \frac{W_B H_2 \eta_2}{367}$.

H_1 и H_2 — напор первой и второй гидростанции в метрах;

W_B и W_{B_1} — объем БСР этих установок в м^3 ;

η — кпд установки, который для облегчения расчетов принят одинаковым для обеих установок.

Для этих установок известными, по условию, являются напоры H_1 и H_2 . Поэтому все входящие в выражение (4') составляющие целесообразно привести к известным величинам. Такое приращение можно сделать, положив

$$H_1 = k_1 H_2, \text{ где } k_1 > 1$$

и $W_{B_1} = k_2 W_{B_2}, \text{ где } k_2 = \frac{1}{k_1}$.

Это следует считать справедливым, так как объемы водохранилищ и напоры при одинаковой энергоемкости находятся в обратной зависимости.

Потери энергии в линиях передачи, определяемые формулой (2), также можно записать выраженные через долю запасной в БСР энергии в следующем виде:

$$\mathcal{E}_{\text{пот},1} = \frac{W_B H_1^2 \eta^2 R_L}{367^2 U^2 \eta_1} \text{ и } \mathcal{E}_{\text{пот},2} = \frac{W_B H_2^2 \eta^2 R_L}{367^2 U^2 \eta_2}$$

В этих выражениях значения η_1 и η_2 определяются в первом приближении по числу часов использования максимальной нагрузки системы при постоянном значении коэффициента мощности.

Для этого по графику нагрузки системы определяются пиковая мощность и пиковая энергия. Первая из этих величин делится по-ровну между суточно регулируемыми гидростанциями, вторая — пропорционально энергоемкости БСР этих же гидростанций. Далее, по найденному, в результате деления пиковой энергии на пиковую мощность, числу часов использования установленной пиковой мощности каждой из ГЭС определяем время наибольших потерь энергии (τ_1 и τ_2) по кривым $\tau = f(h)$.

После подстановки значений составляющих формулы (4') и приделения последней к известным величинам, получается:

$$\varepsilon = \frac{k_1 k_2 W_{\text{Б}} \eta H_2}{367} - \frac{k_1 k_2 W_{\text{Б}} H_2 \tau_1^2 R_1}{367^2 U^2 \tau_1} + \frac{W_{\text{Б}} H_2 \tau_2}{367} - \frac{W_{\text{Б}} H_2 \tau_2^2 R_2}{367^2 U^2 \tau_2} \quad (*)$$

Из этого выражения следует, что энергия пика, вырабатываемая на суточно регулирующих гидростанциях зависит, при прочих равных условиях, от объема БСР этих установок. Возникает задача получения высокого энергетического эффекта покрытия пика нагрузки при минимальных объемах БСР установок ведущих суточное регулирование. Это условие можно записать так:

$$\frac{d \varepsilon_{\text{пик}}}{d W} = 0. \quad (**)$$

В силу (*) и (**) получим:

$$W_{\text{Б}} = \frac{183,5 U^2 (\tau_1 - \tau_2)}{H_2 \tau_1 (R_1 + R_2)} \quad (5)$$

Отсюда нетрудно определить емкость БСР другой установки ($W_{\text{Б}}$) с помощью выражения:

$$W_{\text{Б}} = \frac{H_2}{H_1} W_{\text{Б}} \quad (6)$$

Может оказаться, что одна из гидростанций, на которую предполагается возложить функции суточного регулирования, находится в центре потребления, и в этом случае потерями энергии в линии передачи можно пренебречь, и выражение (5) записать в виде:

$$W_{\text{Б}} = \frac{183,5 U^2}{H_2 \tau_1 R_2} \quad (5)$$

Энергоемкость БСР данного объема (W) может быть определена с помощью графика, представленного на рис. 2. Энергоемкость БСР данного объема (W) может определяться при различных напорах в интервале 25–150 м. Для напоров промежуточных значений энергоемкость БСР определяется путем линейной интерполяции. При построении рис. 2 значение напряжения передачи принималось равным 220 кВ.

Приведенные выше соображения были построены исходя из ус-

ловий предельной технической целесообразности сооружения БСР для удовлетворения заданной нагрузки. Такое решение запроса является

$$N_2 = \frac{N_{\text{БСР}}}{24 \cdot K_1} = \frac{2100}{24 \cdot 0.8} = 109.375 \text{ МВт}$$

$$N_2 = \frac{N_{\text{БСР}}}{24 \cdot K_1} = \frac{2100}{24 \cdot 0.8} = 109.375 \text{ МВт}$$

$$N_2 = \frac{N_{\text{БСР}}}{24 \cdot K_1} = \frac{2100}{24 \cdot 0.8} = 109.375 \text{ МВт}$$

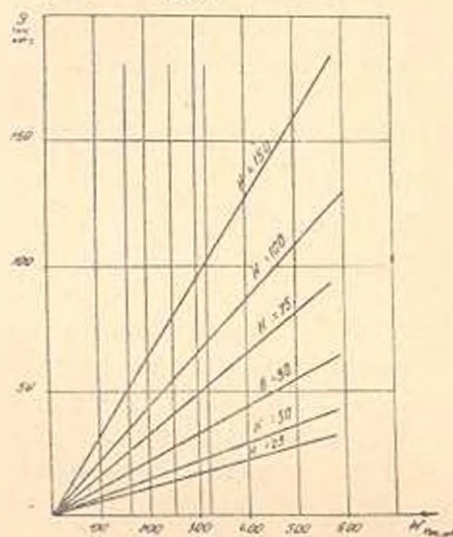


Рис. 2.

необходимым, но недостаточным для сооружения БСР данного объема. Поэтому, после того как определены объемы БСР обеих установок, а следовательно и возможное участие их в покрытии суточной нагрузки системы, необходимо энерго-экономически обосновать эффективность участия указанных ГЭС в покрытии пиковой нагрузки. Одновременно с этим надо обосновать установку на рассматриваемых гидроэлектростанциях некоторой пиковой мощности с учетом затрат связанных с передачей этой мощности в центр потребления.

Имеется не мало работ, посвященных вопросу энерго-экономического обоснования участия ГЭС в покрытии суточной нагрузки при проектировании [6, 7] и при

эксплуатации [1, 3] энергетических систем.

В настоящем исследовании рассмотрен способ определения величины пиковой мощности ГЭС, при заданной энергоемкости БСР, исходя из условия минимума эксплуатационных затрат и необходимости компенсации потерь мощности при передаче ее в центр потребления.

Если допустить, что покрытие пиковой нагрузки системы осуществляется двумя гидроэлектростанциями, работающими в гидроэнергосистеме, то суммарные ежегодные издержки эксплуатации их в части пиковой мощности можно представить так:

$$L_2 = U_1 + U_{\text{ком}} + U_2 + U_{\text{ком}}, \quad (7)$$

где U_1 , U_2 — ежегодные издержки эксплуатации по БСР первой и второй установок;

$U_{\text{ком}}^1$, $U_{\text{ком}}^2$ — ежегодные издержки компенсации потерь мощности в линиях передачи.

В выражении (6) не включены издержки эксплуатации во линиях передачи, поскольку они будут сооружены для передачи базисной мощности указанных ГЭС в центр потребления независимо от того, могут эти гидроэлектростанции осуществлять суточное регулирование и системе или нет.

Отдельные составляющие выражения (6) можно представить в развернутом виде:

$$U_{\Sigma} = \frac{\alpha k 367 \mathcal{E}_B}{H \eta}; \quad U_{\text{ком}} = \frac{3 k_{\Sigma} \cdot a_k \cdot R_k}{U^2 \eta^2} (\mathcal{E}_B + \mathcal{E}_{\text{пик}})^2;$$

здесь α и α_k — коэффициент полных издержек, приведенных к капитало-
вложениям по БСР и компенсирующей мощности.
Полное выражение этого коэффициента дано в виде (7)

$$\alpha = \alpha' + \frac{1}{T},$$

где α' — доля годовых издержек эксплуатации, а T — срок окупаемости
 k_{Σ} , k_k — удельные капиталовложения в 1 *квт.ч.* запасенной в БСР энер-
гии и 1 *квт* компенсирующей мощности.

h — число часов использования максимума нагрузки.

Суммарные издержки системы в их переменной части зависят от
мощности, установленной на гидростанциях. В рассматриваемом случае
издержки зависят от суточнорегулирующей мощности ГЭС ($U_2 =$
 $= f(N_1, N_2)$). Кроме того, суточнорегулирующие мощности N_1 и N_2
связаны следующими условиями:

$$U_{\text{ком}} = U_1 + U_2 = \alpha_1 \mathcal{E}_1 + \alpha_2 \mathcal{E}_2$$

$$\text{или} \quad \varphi(N_1, N_2) = U_1 + U_2 - U_{\text{пик}} = 0, \quad (8)$$

т. е. покрытие пика нагрузки и издержки, возникающие при этом, от-
носятся к рассматриваемым гидростанциям.

В этом случае отыскивается условный экстремум, при котором
оба аргумента связаны дополнительным условием (8).

Для отыскания условного экстремума применяется метод Лагран-
жа, заключающийся в том, что в систему уравнений вводятся неопре-
деленные множители, равные числу условий. В данном случае вво-
дится только один неопределенный множитель λ , после чего рассмат-
ривается функция вида:

$$F = f(N_1, N_2) + \lambda \varphi(N_1, N_2). \quad (a)$$

Необходимые условия максимума и минимума функции опреде-
ляются тремя уравнениями с тремя неизвестными:

$$F'_{N_1} = 0, \quad F'_{N_2} = 0; \quad \varphi(N_1, N_2) = 0. \quad (б)$$

После дифференцирования первых уравнений по N_1 и N_2 и соот-
ветствующих преобразований получим:

$$\begin{aligned} N_1 &= \frac{(A_2 - A_1)(h_1 + \tau_1) + h_1(C_2 - C_1)}{2h_1^2(B_1 + B_2)}, \\ N_2 &= \frac{(A_1 - A_2)(h_2 + \tau_2) + h_2(C_1 - C_2)}{2h_2^2(B_1 + B_2)}, \\ \lambda &= -\frac{(A_1B_2 + A_2B_1)(h_2 + \tau_2) + h_1(B_1C_1 + 2B_2C_1 + B_1C_2)}{2h_2(B_1 + B_2)}. \end{aligned} \quad (9)$$

$$\text{где } A = \frac{367 \alpha k}{H \gamma_1}, \quad B = \frac{3 \alpha_k k_{\text{кл}} R_2}{U^2 \gamma_2}, \quad C = \frac{6 k_k \alpha_k R_2}{U^2 \gamma_2} \cdot \gamma_{0.21}.$$

Изложенный выше способ определения мощности, необходимой для покрытия пика суточной нагрузки системы двумя гидростанциями, при минимальных ежегодных издержках эксплуатации суточнорегулирующих мощностей, применим в случае размещения БСР в конце деривационного канала у стационарного узла.

Определенные по формулам пиковые мощности носят приближенный характер, поскольку в расчеты вводятся значения числа часов использования пиковой нагрузки (h), определенные указанным выше приемом. Поэтому, откладывая по оси ординат графика продолжительности пиковой нагрузки, полученные значения пиковой мощности N_1 и N_2 , во втором приближении можно найти более точное значение h .

Представляя полученное значение h в формуле (9), определяем величину пиковой мощности. Найденная во втором приближении величина пиковой мощности, как показали расчеты, не превышает 5%, величины таковой, определенной в первом приближении. Исходя из сказанного, можно ограничить расчеты вторым приближением, так как допущенная ошибка невелика. Величина пиковой мощности гидростанций может быть легко найдена с помощью кривых $N = f(h)$, построенных для разных стоимостей, запасенной в БСР 1 *катч* электрической энергии (см. рис. 3).

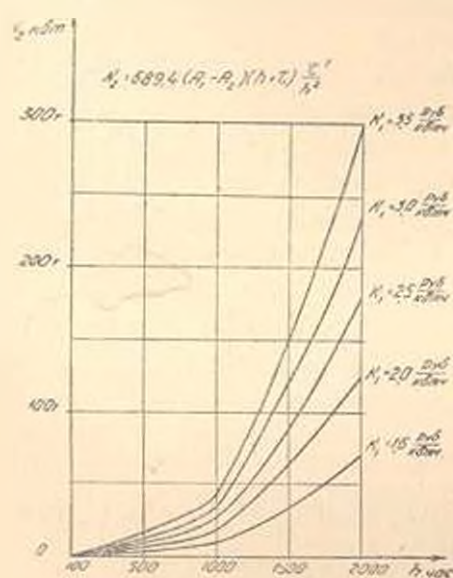


Рис. 3.

при построении кривых рис. 3, в основу расчетов были положены проектные данные одной гидроэнергосистемы. Здесь приняты следующие показатели: напряжение линии передачи 220 *кв*; активные сопротивления $R_2 = 20,2$ *ом*, $R_1 = 2,4$ *ом*. Коэффициент полных издержек $\alpha_1 = \alpha_2 = 0,1$. Удельные капитальные затраты $k_{\text{эл}} = 3550$ $\frac{\text{руб}}{\text{кат}}$ и $k_{\text{к}} = 5370$ $\frac{\text{руб}}{\text{кат}}$. Напоры ГЭС $H_1 = 260$ *м* и $H_2 = 585$ *м*.

Результаты расчетов по определению точек кривых с помощью уравнений (9) приведены в табл. 1.

Таким образом, зная число часов использования максимума нагрузки (h), а также стоимость единицы энергии, запасенной в БСР одной из регулирующих ГЭС (k), по кривым рис. 3 определяется величина пиковой мощности данной ГЭС. Значение пиковой мощности другой ГЭС, участвующей в покрытии

Таблица 1

№ п/п	h, час.	Пиковая мощность N квт				
		1,5 $\frac{\text{руб.}}{\text{квтч}}$	2 $\frac{\text{руб.}}{\text{квтч}}$	2,5 $\frac{\text{руб.}}{\text{квтч}}$	3 $\frac{\text{руб.}}{\text{квтч}}$	3,5 $\frac{\text{руб.}}{\text{квтч}}$
1	100	925,1	1700	2316	2930	3859
2	200	1850	3367	4632	5860	7719
3	300	2779	5100	6957	8800	11595
4	400	3670	6791	9209	11700	15438
5	500	4625	8489	11682	14650	19297
6	1000	9251	17000	23160	29300	38595
7	1500	35765	65612	89541	113000	149000
8	1700	48238	89281	120000	153000	201226
9	2000	72853	136631	181000	230000	303937

пика нагрузки, определяется как разность между суммарной пиковой нагрузкой и известной пиковой мощностью гидростанции.

В заключении следует отметить, что прямой пропорциональности между объемами БСР и начальными капиталовложениями и издержками эксплуатации по пиковой мощности может не быть, поэтому для более точного решения вопроса при проектировании, необходимо вводить коррективы, определяющиеся местными условиями.

Предлагаемый способ расчета пиковой мощности и энергоемкости бассейна суточного регулирования параллельно работающих гидроэлектростанций позволяет учитывать потери пиковой энергии при передаче ее от электростанции к потребителю. В отличие от существующих способов, здесь величина пиковой мощности определяется с условием компенсации потерь мощности в линиях передачи (при определенных параметрах последних), причем емкость БСР обеспечивает покрытие потерь энергии.

Определение пиковой мощности двух параллельно работающих гидроэлектростанций проводится по принципу минимума эксплуатационных издержек в системе, с учетом капиталовложений. Это позволяет наиболее выгодным образом распределить пик суточной нагрузки между суточнорегулирующими станциями, учитывая энергоемкость бассейна суточного регулирования.

Восточно-энергетический институт

АН Армянской ССР

Получено 26 VIII 1957

II. Դ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Ս. Ա. ՄԽԻԹԱՐՅԱՆ

ԴԵՐԿԱՅԻՆՆԵՐԻ ՀԻԴՐՈԿԱՅԱՆԻ ՕՐՎԱ ԿԱՆՈՆԱՎՈՐՄԱՆ ԶՐԱՎԱՋԱՆԻ ՏԱՐՈՂՈՒԹՅԱՆ, ԵՎ ՊԻԿԱՅԻՆ, ՀՉՈՐՈՒԹՅԱՆ, ՀԱՇՎՄԱՆ ՀԱՐՅՈՒ ՄԱՍԻՆ

Ա մ փ ո փ ո ւ փ

Հիդրոկայանների նախագծման փորձը ցույց է տվել, որ էներգետիկ սխեմաների բեռնվածությունը որպես կանոնավորումը նպատակահարմար է կատարել ալն հիդրոկայանների միջոցով, որոնք իրենց կազմում ունեն որպես անոնավորման ջրավաղաններ:

Հետևաբար, երբ նոր հիդրոկայան է նախագծվում, անհրաժեշտ է ստուգել կոնոնավորման ջրավաղանի առեղծման հնարավորությունները: Այն դեպքում, երբ բեռնվածության կենտրոնում հնարավոր չէ սանդժել օրվա կանոնավորող հզորություններ, պետք է հաշվարկել այդ հզորությունների հույորդման էներգո-տնտեսական և ֆեկտիվությունը երկար տարածությունների վրա էլեկտրահզորդման գծերի միջոցով: Այս հոլվածում շարադրված է կանոնավորող հզորությունների և էներգիայի հաշվարկման կզանակը, որը հիմնարկված է առավելագույն էֆեկտիվություն ստանալու պայմանի վրա:

Առաջված բանաձևերում հաշվի է առնված էլեկտրահզորդման գծերի մեջ հզորություն և էներգիայի կորուստները: Այդ կորուստները փոխհատուցելու համար հիդրոկայաններում պետք է տեղակայել լրացուցիչ էլեկտրական հզորություններ, իսկ կանոնավորող ավազաններում՝ լրացուցիչ ունակություններ: Այս բոլորը առաջ է բերում կապիտալ և շահագործման ծախսերի աճ:

Հոլվածում որված բանաձևերի օգնությամբ հնարավոր է հաշվարկել էներգիայի սխեմայի համար անհրաժեշտ օրվա կանոնավորման հզորությունները և կանոնավորող ջրավազանների տարողությունները, ելնելով շահագործման ծախսերի նվազագույն չափերի պայմանից:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Бодотин В. В. Теоретические основы выбора экономичного режима сложной электроэнергетической системы. Изд. АН СССР, М.—Л., 1972 г.
2. Гидеинов А. А. Электрические сети и системы. Госэнергоиздат, М.—Л., 1954 г.
3. Горинштейн В. М. Наиболее выгодное распределение нагрузок между параллельно работающими электростанциями. Госэнергоиздат, М.—Л., 1949 г.
4. Демидович Ю. С. О выборе параметров гидроэлектростанций ГЭС, работающих с суточной неравномерностью. Труды Института энергетики Академии наук Груз. ССР, т. VII, Тбилиси, 1953 г.
5. Демидович Ю. С. О выборе параметров гидроэлектростанций, работающих параллельно и при наличии суточной неравномерности. Труды Ин-та энергетики АН Груз. ССР, т. IX, Тбилиси, 1955 г.
6. Егизария И. В. Гидроэлектрические станционные установки. часть I и III. Энергоиздат, М.—Л., 1954 г.
7. Мостков М. А. Введение в системную гидроэнергетику. Изд. АН Груз. ССР, Тбилиси, 1954 г.

О. П. ЩЕРБАКОВА

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ МОЩНОСТИ НЕЗАРЕГУЛИРОВАННЫХ ДЕРИВАЦИОННЫХ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ, РАБОТАЮЩИХ В КАСКАДЕ

На современном этапе развития электрофикации сельского хозяйства применение электроэнергии в с/х производстве повысило требования как к качеству электроэнергии, так и к надежности и бесперебойности электроснабжения. Изолированные сельские электростанции не способны удовлетворять указанные требования с/х потребителя. Поэтому дальнейшее развитие электрификации сельского хозяйства столкнулось с необходимостью строительства более мощных электростанций с последующим объединением их в местные энергосистемы, или рассчитывать их параллельную работу с крупной энергосистемой. В связи с этим принимает важное значение изучение и обобщение имеющегося опыта по методике водно-энергетических расчетов, в частности, по изучению основного вопроса—выбора мощности электростанций, работающих в местной энергосистеме. Особо необходимо изучение этого вопроса в районах, бедных запасами минерального топлива, где основным видом энергисточника с/х является энергия малых и средних рек. В этих районах в местные системы в основном будут входить гидроэлектростанции, поэтому выбор мощности ГЭС должен основываться как на выявлении влияния гидрологического фактора (внутригодовой изменчивости стока), так и энергэкономического.

В данной работе сделана попытка применить метод Е. Д. Сафарова [5] для выбора мощности с/х ГЭС, работающих в местной системе, а также провести анализ влияния гидрологического и экономического факторов на выбор мощности.

Вопрос энергоснабжения с/х районов должен исследоваться в трех стадиях: а) стадия исследования, когда все энергоснабжение района базируется на гидроресурсах данного района, б) в балансе энергоснабжения участвуют как гидроэлектростанции, так и тепловые электрические станции, и в) стадия, когда исчерпаны все гидроресурсы района и дальнейшее развитие энергоснабжения производится за счет тепловых электростанций (при наличии в районе местного топлива) и за счет большой энергосистемы.

В настоящей работе выбор мощности ГЭС, работающих в местной системе, относится к первой стадии исследования.

Предполагается в данном случае, что местная система построена на базе ГЭС на одной реке, а так же рассматривается случай местной системы, состоящей из ГЭС, расположенных на водотоках с различной степенью естественной зарегулированности. Рассматриваются незарегулированные деривационные ГЭС с высокими и средними напорами, для которых при заданной схеме водозаборных сооружений, а так же и случае каскада ГЭС, при заданной разбивке участка реки на ступени, выбор мощности сведется к выбору расчетных расходов. В качестве исходной гидрологической характеристики водотока принята многолетняя кривая продолжительности средне-месячных расходов, приведенная к одному году $Q=f(t)$. В основу расчета принят принцип минимума себестоимости киловаттчасов электроэнергии по системе в целом, т. е. задача заключается в нахождении такого соотношения мощностей ГЭС, при котором по системе в целом получится минимальная себестоимость *квтч* суммарной электроэнергии.

Условия для минимальной себестоимости *квтч* записываются в следующем виде:

$$S_c = \frac{\sum_{i=1}^n p K_i}{\sum_{i=1}^n \mathcal{E}_i} = \min, \quad (1)$$

где K_i — капиталовложения в гидроэлектростанции,

$\mathcal{E}_i$ — выработка соответствующих ГЭС,

p — доля издержек от капиталовложений.

Зависимость K_i от величины мощности в общем случае, как известно, можно записать в виде

$$K_i = K_{oi} + K'_i N_i, \quad (2)$$

где N_i — мощность гидроэлектростанции,

K_{oi} — часть капиталовложений, не зависящая от N_i ,

K'_i — стоимость дополнительного киловатта установленной мощности ГЭС.

Величина выработки каждой ГЭС определяется из выражения

$$\mathcal{E}_i = N_i t_i + \int_0^T N_i dt, \quad (3)$$

где t_i — продолжительность использования расчетной мощности,

T — число часов в году.

Для нахождения минимума функции (1) дифференцируем это выражение по мощностям N_1, N_2, N_3 и приравняем нулю полученные частные производные $\frac{\partial S_c}{\partial N_i}$. После преобразований, получим систему уравнений:

$$\frac{\sum_{i=1}^n p (K_{oi} + K_i' N_i)}{\sum_{i=1}^n \mathcal{E}_i} = \frac{\frac{\partial}{\partial N_1} (p K_i' N_i)}{\frac{\partial}{\partial N_1} \left(\sum_{i=1}^n \mathcal{E}_i \right)}$$

$$\frac{\sum_{i=1}^n p (K_{oi} + K_i' N_i)}{\sum_{i=1}^n \mathcal{E}_i} = \frac{\frac{\partial}{\partial N_2} (p K_i' N_i)}{\frac{\partial}{\partial N_2} \left(\sum_{i=1}^n \mathcal{E}_i \right)}$$

$$\dots$$

$$\frac{\sum_{i=1}^n p (K_{oi} + K_i' N_i)}{\sum_{i=1}^n \mathcal{E}_i} = \frac{\frac{\partial}{\partial N_n} (p K_i' N_i)}{\frac{\partial}{\partial N_n} \left(\sum_{i=1}^n \mathcal{E}_i \right)}$$

Левая часть системы уравнений (4) представляет из себя исходную функцию, т. е. себестоимость одного *квтч* суммарной электроэнергии, правая же часть есть дифференциальные* себестоимости энергии отдельных установок.

Таким образом приходим к выводу, что для получения минимальной себестоимости *квтч* электроэнергии по системе (каскаду) в целом, необходимым условием является равенство между собою дифференциальных себестоимостей по установкам, а также равенство их средней по каскаду себестоимости.

Подставим значение производных $\frac{\partial}{\partial N_i} \left(\sum_{i=1}^n K_i' \right)$ и $\frac{\partial}{\partial N_i} \left(\sum_{i=1}^n \mathcal{E}_i \right)$ из выражений (2) и (3) в систему уравнений (4) и, обозначив левую часть уравнений через λ (λ — то значение и оно единственное из всевозможных S_r , при котором равны между собою дифференциальные себестоимости), получим новую систему уравнений

$$\frac{p K_1'}{t_1} = \frac{p K_2'}{t_2} = \dots = \frac{p K_n'}{t_n} = \lambda. \quad (5)$$

Поскольку стоимости дополнительных *квт* на ГЭС различны, то и t_i для всех ГЭС каскада будут различны. Отсюда следует, что продолжительности расчетных расходов ГЭС пропорциональны стоимости дополнительного киловатта мощности, при одной и той же кривой продолжительности расходов. Решение системы уравнений (5) относительно λ дает возможность находить экономичные мощности ГЭС. Значение λ в уравнениях (5) в свою очередь зависит от величины t_i .

* Понятие дифференциальной себестоимости или стоимости *квтч* электроэнергии равнозначено значению производной от себестоимости или стоимости по мощности ГЭС при сохранении постоянным заданного напора [1].

поэтому решение системы уравнений (5) возможно только путем подбора значения λ_1 .

Такое решение получается просто и наглядно графоаналитическим методом, впервые предложенным Е. Д. Сафаровым [3]. На (рис. 1а) показан графический метод решения системы уравнения (5).

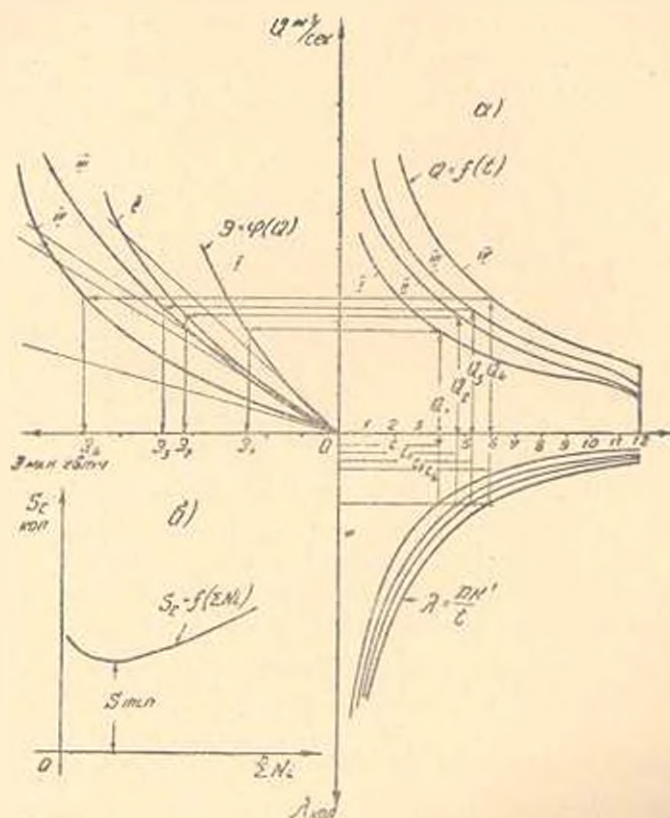


Рис. 1.

В правом верхнем квадранте построены кривые продолжительности среднесуточных расходов для каждой ГЭС каскада: $Q = f(t)$, в левом верхнем квадранте—интегральные кривые выработки, построенные в координатах Q и Δ при постоянном напоре, т. е. $\Delta = f(Q)$, и в правом нижнем квадранте—кривые зависимости $\lambda = f(K')$.

Для построения кривых $\lambda = f(K')$ была проведена систематизация экономических показателей существующих ГЭС с/х назначения, находящихся на территории Армянской ССР, с целью установления эмпирических зависимостей между стоимостью отдельных сооружений и величиною расчетного расхода, а также установлена зависимость стоимости всей ГЭС от этой же величины.

Выбор расчетного расхода производится следующим образом: имея кривые продолжительности среднесуточных расходов, строим интегральные кривые $\Delta = f(Q)$ в координатах Δ и Q при $H = \text{const}$ (II квад-

рант), далее, определив K' (стоимость дополнительного киловатта мощности) строим кривые $\lambda_i = \frac{pK'}{t}$ (IV квадрант). Имея таким образом три семейства кривых: $Q = f(t)$, $\mathcal{E} = f(Q)$, $\lambda = f(K')$, определение расчетного расхода ГЭС начинаем с того, что задаваясь рядом значений $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ по кривым $\lambda = \frac{pK'}{t}$ (см. направление стрелок), поднимаясь вверх, находим значение t_i — продолжительность использования соответствующих расходов для каждой установки, пересечение этих перпендикуляров с кривыми $Q = f(t)$ (первый квадрант) дает расходы Q_i , далее по кривым $\mathcal{E} = f(Q)$ (III квадрант) получаем выработку для каждой ГЭС соответственно этим расходам. Расчет повторяется неоднократно для ряда значений λ .

По полученным данным составляем таблицу значений t , Q (или N), $\mathcal{E}$ и pK (см. таблицу 3 примера расчета для р. Дали). Получив таким образом ряд значений Q_i , необходимо найти те значения Q_p , при которых в целом по системе (каскаду) получилась бы минимальная себестоимость киловатт-часа суммарной энергии. Поэтому, зная N и $\mathcal{E}$ по формуле (1) вычисляем соответствующие S_i и строим кривую зависимости S_i от ΣN_i , т. е. зависимость себестоимости *квтч* энергии системы от суммарной мощности всех ГЭС (рис. 16).

Минимуму кривой $S = f(\Sigma N_i)$ и будет соответствовать минимальная себестоимость *квтч* энергии по системе — S_{min} . Повторяя ход расчета для $\lambda = S_{min}$ по кривым $\lambda = f(K')$ окончательно находим продолжительности использования расчетных расходов каждой ГЭС, а по кривым $Q = f(t)$ расчетные расходы.

Предлагаемый метод определения расчетных расходов ГЭС с/х назначения проверен для каскадов с/х ГЭС, расположенных на некоторых реках АрмССР. В таблицах 1, 2, 3 приводится пример выбора расчетных мощностей ГЭС, расположенных в каскаде на р. Дали.

Таблица 1

ГЭС каскада	П а р а м е т р ы ГЭС				
	t мес.	Q м/сек	N квт	$\mathcal{E}$ млн. квтч	pK млн. рубл.
I	3,9	1,07	1180	5,85	0,38
II	4,4	0,97	714	3,95	0,30
III	5,0	0,75	331	2,16	0,21
Итого . . .			2225	11,96	0,89

Описанная выше методика выбора расчетных расходов ГЭС дает возможность учитывать одновременно два основных фактора, влияющих на мощность ГЭС: гидрологический и экономический, и так же рассматриваются одновременно, а не изолированно, все ГЭС, вхо-

Таблица 2

ГЭС каскада	П а р а м е т р ы ГЭС					
	<i>t</i> мес.	<i>Q</i> м³/с	<i>N</i> кВт	<i>Э</i> млн. кВт·ч	<i>pK</i> млн. р.	<i>S</i> коп.
I	5,2	0,57	560	3,85	0,254	6,6
II	1,4	0,97	714	3,95	0,300	7,6
III	1,0	1,2	544	2,70	0,276	10,2
Итого			1818	10,5	0,83	24,4

данные в местную систему. Анализ данных таблиц 1 и 2 показал, что используя один и тот же принцип экономических расчетов минимума себестоимости киловатт-часа электроэнергии, получаются различные показатели ГЭС при изолированном выборе расчетного расхода для каждой ГЭС и при выборе последнего по описанной выше методике. При минимальной себестоимости *кВт·ч* по системе, в первом случае равной 7,4 коп., суммарная мощность системы на 25% больше мощности этих же ГЭС, если их мощности выбирать изолированно, не в системе, имея при этом другое значение себестоимостей для каждой ГЭС, и средняя величина ее больше чем себестоимость в первом случае. Аналогична картина и в отношении остальных показателей ГЭС (см. таблицы 1 и 2).

Влияние гидрологического и экономического факторов на выбор мощности ГЭС проанализировано на примере местной системы, состоящей из ГЭС, расположенных на реках с различной степенью естественной зарегулированности (рис. 2).

Для числового выражения естественной зарегулированности стока, определяющей степень заполнения или степень неравномерности гидрографа, может служить площадь кривой обеспеченности модульных коэффициентов (*k*) или площадь гидрографа до среднего расхода или до $k = 1,0$ [2], т. е.

$$\varphi = \int_0^{1,0} p dk, \quad (8)$$

где *p* — обеспеченность в долях от единицы;

k — отношение расхода к среднему.

Коэффициент естественной зарегулированности φ , как показали исследования [4], характеризует зарегулированность реки для всех интервалов времени (месяц, сезон, год, многолетие). Основные степени естественной зарегулированности малых и средних рек Армянской ССР характеризуются значениями коэффициента $\varphi > 0,60$; $\varphi = 0,6—0,75$ и $\varphi > 0,75$, т. е. соответственно: слабая зарегулированность, средняя и сильная. Характерными реками на территории АрмССР с точки зрения степени зарегулированности являются: р. Агстег $\varphi = 0,477$, р. Памбак $\varphi = 0,66$ и р. Азат $\varphi = 0,793$. Для расчетов нами взяты указанные реки, а также

Расчет экономических мощностей ГЭС каскада на р. Даян

Таблица 3

Пара- метры ГЭС каскада	З н а ч е н и е в к о п е й к а х																			
	3					4					6					8				
	<i>t</i>	<i>N</i>	<i>Э</i>	<i>pK</i>	<i>S</i>	<i>t</i>	<i>N</i>	<i>Э</i>	<i>pK</i>	<i>S</i>	<i>t</i>	<i>N</i>	<i>Э</i>	<i>pK</i>	<i>S</i>	<i>t</i>	<i>N</i>	<i>Э</i>	<i>pK</i>	<i>S</i>
I	10,2	243	2,1	0,176	8,4	7,6	342	2,6	0,162	7,0	5,2	560	3,85	0,254	6,6	3,9	1180	5,85	0,38	6,5
II	11,4	169	1,5	0,169	11,3	8,8	221	1,8	0,177	9,8	5,8	397	2,65	0,224	8,5	4,4	714	3,95	0,30	7,6
III	12,0	103	0,9	0,149	16,5	9,8	124	1,05	0,156	14,8	6,6	207	1,5	0,180	12,0	5,0	331	2,16	0,211	10,3
Итого . . .		515	4,5	0,494	10,9		687	5,45	0,515	9,5		1164	8,0	0,658	8,2		2225	11,96	0,891	7,4

Продолжение таблицы 3

Пара- метры ГЭС каскада	З н а ч е н и е в к о п е й к а х																			
	10					12					14					16				
	<i>t</i>	<i>N</i>	<i>Э</i>	<i>pK</i>	<i>S</i>	<i>t</i>	<i>N</i>	<i>Э</i>	<i>pK</i>	<i>S</i>	<i>t</i>	<i>N</i>	<i>Э</i>	<i>pK</i>	<i>S</i>	<i>t</i>	<i>N</i>	<i>Э</i>	<i>pK</i>	<i>S</i>
I	3,1	1532	6,80	0,483	7,1	2,6	1700	6,9	0,498	7,2	2,2	1840	7,1	0,53	7,5	2,0	1920	7,4	0,555	7,5
II	3,5	963	4,55	0,370	8,1	2,9	1130	4,9	0,414	3,4	2,5	1250	5,2	0,443	8,5	2,2	1340	5,3	0,465	8,8
III	4,0	544	2,70	0,276	10,2	3,3	685	3,0	0,315	10,5	2,8	746	3,2	0,345	10,8	2,5	795	3,4	0,371	10,9
Итого . . .		3039	14,05	1,129	8,0		3515	14,8	1,227	8,3		3846	15,5	1,318	8,5		4055	16,1	1,391	8,6

Примечание: Измерения параметров: *t* — мес., *N* — кат., *Э* — млн. катч., *pK* — млн. руб., *S* — коп.

для выявления влияния экономического фактора взяты три значения K' (стоимость дополнительно киловатта мощности) — кривая $\lambda = \frac{pK'}{t}$

(IV-й квадрант, рис. 2). В результате анализа оказалось, что для одной и той же кривой $\lambda = \frac{pK'}{t}$ в зависимости от степени зарегулированности водотока мощность ГЭС меняется в следующем порядке: при изменении φ от 0,5 до 0,7 и 0,8 мощность увеличивается соответственно в 2 и 4 раза по отношению к мощности ГЭС на реке с $\varphi = 0,5$. Причем степень увеличения мощности уменьшается с увеличением значения λ (см. таблицу 4 и рис. 3 пунктирные линии).

Расчеты приведены для I, II и III кривых $\lambda = f(K')$, т. е. для трех значений K' (IV квадрант, рис. 2).

Таблица 4

ГЭС на реках		Значения λ в копейках для I-й кривой							
		3	5	7	8	9	15	18	21
Агстен	$\varphi = 0,5$	245	391	626	735	845	1430	1630	1900
Памбак	$\varphi = 0,7$	286	422	544	605	667	1090	1290	1630
Азат	$\varphi = 0,8$	490	571	613	640	667	980	1100	1240

ГЭС на реках		Значения λ в копейках для II-й кривой							
		7	8	9	11	15	17	20	22
Агстен	$\varphi = 0,5$	286	313	341	463	680	735	910	1020
Памбак	$\varphi = 0,7$	327	361	395	463	573	627	720	800
Азат	$\varphi = 0,8$	517	540	560	586	627	640	695	750

ГЭС на реках		Значения λ в копейках для III-й кривой							
		8	10	12	14	15	18	20	22
Агстен	$\varphi = 0,5$	190	258	313	354	403	517	600	680
Памбак	$\varphi = 0,7$	245	300	354	410	430	490	531	572
Азат	$\varphi = 0,8$	450	505	545	560	567	586	600	620

Такое изменение мощностей наблюдается также в области, соответствующей продолжительности расходов от 3 месяцев до 12. В области же малых продолжительностей расходов для 3 видов рек кривые продолжительности мало отличаются между собою по конфигурации, поэтому картина изменения мощностей в зависимости от изменения φ меняется, а именно происходит быстрое увеличение мощности с увеличением λ на реке со слабой зарегулированностью. На рис. 3 (сплошные линии) приведено изменение мощностей ГЭС для разных φ и λ при изменении стоимости дополнительного киловатта.

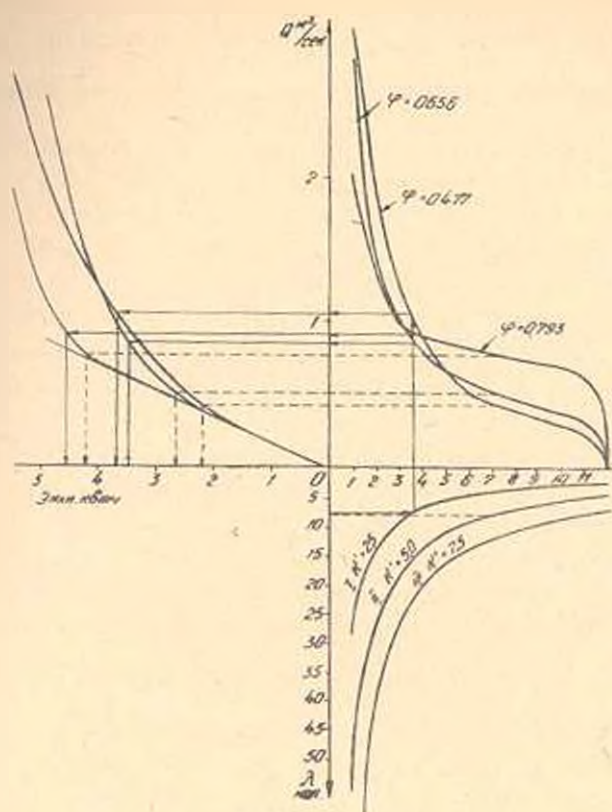


Рис. 2.

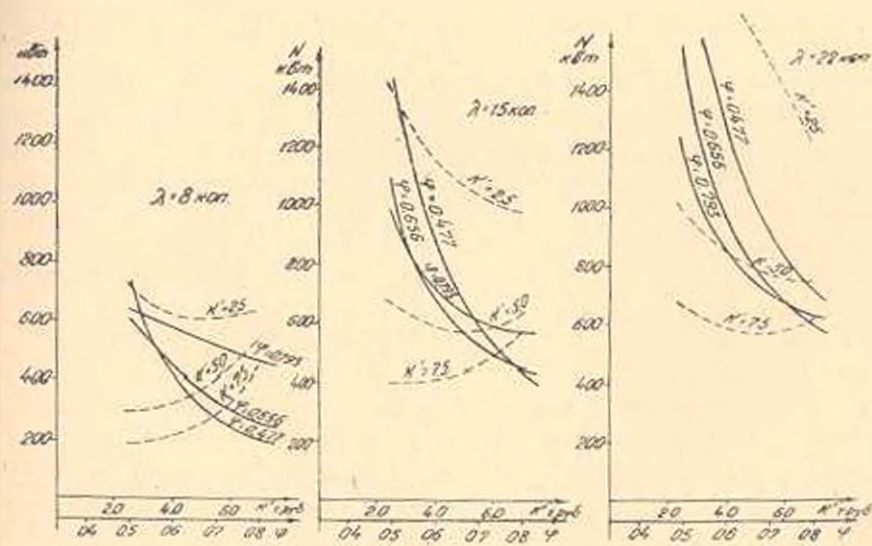


Рис. 3

Как видно из рис. 3 и из таблицы 1, изменение мощности ГЭС от изменения λ для разных φ , для каждой из трех кривых $\lambda = \frac{pK'}{I}$,

различно. Вышеописанная картина изменения мощностей в основном относилась к случаю первой кривой (1) (т. е. $K' = 2,5$ т. р.). С увеличением K' влияние λ на мощность уменьшается и для III-й кривой увеличение λ почти не влияет на мощность ГЭС. Так, например, для реки со слабой зарегулированностью ($\varphi = 0,5$) в результате изменения K' в 2 и 3 раза, мощность ГЭС уменьшается соответственно в 2,5 и 1 раз. Для рек со средней зарегулированностью увеличение K' в том же отношении приводит к уменьшению мощности ГЭС в 1,8 и 1,4 раза.

Влияние K' на мощность ГЭС, расположенной на реке, характеризующейся высокой степенью зарегулированности, почти не сказывается при $\lambda = \text{const}$.

Таким образом, совместное рассмотрение гидрологических и экономических характеристик ГЭС дает возможность исключить из состава местной системы ГЭС, в которых энерго-экономическими показателями.

Это будет наглядно видно, если кривая $\lambda = \frac{pK'}{I}$, соответствующая миним. ГЭС исходит из области больших значений λ и λ (кривая III, рис. 2). Как видно из рис. 2 (кривая III) при $\lambda \approx 8$ коп. получаются мощности только круглогодовой обеспеченности.

Влияние указанных выше факторов на параметры ГЭС местной системы в целом видно из таблиц 5 и 6, в которых приведены параметры ГЭС системы для I-й и II-й кривых $\lambda = \frac{pK'}{I}$. Из таблиц сле-

дует, что в результате изменения стоимости дополнительного киловатта мощности в 2 раза, суммарная мощность всех ГЭС уменьшается на 63%. Дальнейшее увеличение K' (III-я кривая) приводит к такому положению, что получение минимальной себестоимости кВтч по системе возможно только при мощностях круглогодовой обеспеченности (III-я кривая).

Таблица 1

ГЭС на реках	Значение параметров ГЭС для I-й кривой					
	t мес.	Q м ³ /с	N кВт	E млн. кВтч	pK' млн. р.	S коп./кВтч
Агстем	3,5	1,06	720	9,7	0,344	7,5
Памбук	3,5	0,86	585	1,3	0,296	7,5
Алат	3,5	0,92	625	1,55	0,312	7,5
Итого	—	—	1931	11,75	0,952	—

Итак, правильное решение основного вопроса водноэнергетических расчетов гидроэлектростанций сельскохозяйственного назначения дол-

Таблица 6

ГЭС на реках	Значение параметров ГЭС для II-й кривой					
	t мес.	Q м ³ /с	N квт	$Э$ млн. квтч	p_k млн. р.	S коп. квтч
Агстеп	7,2	0,44	300	2,2	0,198	7,6
Намбак	7,2	0,52	351	2,65	0,216	7,6
Азат	7,2	0,72	531	4,2	0,275	7,6
Итого	—	—	1185	9,05	0,619	—

жно основываться на совместном рассмотрении гидрологических характеристик потока, энергэкономических показателей самих ГЭС.

Для получения минимальной себестоимости киловатт-часа электроэнергии по каскаду (системе) в целом, необходимым условием является равенство между собой дифференциальных себестоимостей киловатт-часа на установках, а также равенство их средней по каскаду себестоимости.

Для одних и тех же экономических показателей ГЭС, в зависимости от степени естественной зарегулированности потока, мощности и выработки энергии гидроэлектростанций меняются в следующем порядке: при изменении ε от 0,5 до 0,7 и 0,8 мощность увеличивается соответственно в 2 и 4 раза по отношению к мощности ГЭС с $\varepsilon = 0,5$.

Водно-энергетический институт

АН Армянской ССР

Поступило 26 IV 1958

Ո Պ Ն Ե Ր Կ Ե Ր Կ Ա

ԿԱՅԿԱՅՈՒՄ ԱՇԽԱՏՈՂ ՍՎԱՆՈՒԱՎՈՐՎՈՂ ԴԵՐԻՎԱՅԻՈՆ
ՀԻԴՐՈԷԼԵԿՏՐՈԿԱՅԱՆՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱՅԻՆ ՀՊՐՈԹՅԱՆ ՈՐՈՇՈՒՄԸ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հաջորդում կիրառվում է կապաշում աշխատող Դիգրոկլեկտրակայանների հզորությունը որոշելու՝ պրոֆ. Ն. Զ. Սաֆարովի մեթոդը [5], ինչպես և կատարվում է Դիգրոկլեկտրական և էներգետատեխական գործողների՝ հզորության վրա ունեցած ազդեցության վերլուծությունը:

Բնականում է, որ անդակաՆ էներգետատեխ կազմված է մի գետի վրա կառուցվող Դիգրոկլեկտրակայանների կապագից, կամ հոսքի ստորերը բնական կանոնավորում ունեցող գետերի վրա գտնվող Դիգրոկլեկտրակայաններից:

Դիտարկվում են բարձր և միջին ճնշման չկանոնավորվող գերբիացիոն Դիգրոկլեկտրակայաններ, որոնց հզորության բնութագրերը գետի առտիճանների բա-

ժամանակ տվյալ սինսնալի դեպքում հանդուժ է հաշվալին էլքերի ընտրությունը:

Հաշվի հիմքում դրվում է մեկ կվտ-ժամ էներգիայի ինքնարժեքի միևնույն սկզբունքը (լրանածն 1) ամբողջ կասկադի առումով: Կվտ-ժամի միևնույն ինքնարժեքը ստանալու անհրաժեշտ պայմանը հանդիսանում է կասկադի առանձին աստիճաններում կվտ-ժամի դիֆերենցիալ ինքնարժեքների հավասարեցումը միմյանց հետ, ինչպես և նրանց հավասարեցումը էներգիայի միջին ինքնարժեքի հետ ամբողջ կասկադի առումով:

Հախասարումների (5) սխեմայի լուծումը հնարավորություն է տալիս գտնել հիդրոկայանների անտեսապես ձեռնառու հզորությունները: 2 նկարում ցույց է տրված ալդ լուծման գրաֆիկական եղանակը:

1 և 2 աղյուսակների տվյալների վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ էներգիայի ինքնարժեքի միևնույն սկզբունքը կիրառելով ստացվում են տարրեր ցուցանիշներ՝ հիդրոկայանների առանձին և համատեղ աշխատանքի դիտարկման դեպքում:

Հզորության ընտրության վրա հիդրոլոգիական և էներգետիկական ընդթափերի ազդեցության վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ գետի միջին ամսական էլքերի տեղումնային միևնույն կորի դեպքում հիդրոկայանների հաշվալին էլքերի տեղումնային ուղիղ համեմատական է հզորության լրացուցիչ կվտ-ի սրժեքին: Իսկ հիդրոկայանների միևնույն անտեսական ցուցանիշների դեպքում նրանց հաշվալին հզորությունը կախված է գետի ընակական ընդհանուր ամսականից (6) և փոխվում է հետևյալ կարգով. երբ Φ -ն փոխվում է 0,5-ից մինչև 0,7 և 0,8, հզորությունը փոխվում է 2 և 4 անգամ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Москвал М. А. Введение в системную гидроэнергетику. Издат. АН Грузинской ССР, Тбилиси, 1954.
2. Соколовский Д. Л. Гидралогические и гидротехнические расчеты при проектировании малых ГЭС, 1946.
3. Сафаров Е. Д. Определение основных параметров ГЭС, работающих в каскаде и энергетической системе. ЕрПИИ, 1956.
4. Торгомян М. С. Влияние осреднения месячных расходов на величину расчетной выработки электроэнергии незарегулированной ГЭС. „Известия АН Армянской ССР“, т. VI, № 1, 1953.

СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

К. С. ВАРДАНЯН

К МЕТОДИКЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРЕНИЯ И ИЗНАШИВАНИЯ
ПРИ РЕЗАНИИ КАМНЯ

Существующие методы исследования износостойкости режущих материалов можно разделить на две группы:

1) методы исследования износостойкости режущего инструмента непосредственно в процессе резания;

2) методы исследования износостойкости режущего инструмента в условиях моделирующих процесс резания.

При анализе работы режущего инструмента надо различать две грубые пары:

а) „обрабатываемый материал—задняя поверхность резца“. В этом случае износ происходит вследствие истирания задней поверхности резца абразивными частицами;

б) „стружка—передняя поверхность резца“. В этом случае износ по передней поверхности резца является следствием действия пульсирующей нагрузки, возникающей при стружкообразовании, а следов износа в виде царапин не наблюдается. Путь трения от упругого перемещения стружки по поверхности ничтожен по сравнению с путем трения по задней поверхности резца, поэтому понятно, что и износ от упругого перемещения стружки по передней поверхности по сравнению с износом по задней поверхности будет незначительным. Движение стружки после отделения ее от основной массы камня лишь шаржирует переднюю поверхность резца, не давая сколько-либо ощутимой величины износа. С точки зрения стойкости инструмента изнашивание по передней поверхности может служить предметом изучения лишь в том случае, когда имеет место выкрашивание режущей кромки. Характер выкрашивания существенно зависит от вида приложенной нагрузки. При обработке твердых пород под действием динамических нагрузок происходит выкрашивание режущей кромки, что способствует дальнейшему вырыванию из тела пластинки значительных по величине чешуйчатого вида кусочков твердого сплава, приводящих в конечном итоге к образованию „лунок“.

При резании мягких пород камня главным образом изнашивается задняя поверхность, поэтому износостойкость твердосплавного режущего инструмента можно охарактеризовать величиной площадки износа, образующейся по задней поверхности резца в процессе резания

или же объемным износом твердого сплава. Поэтому, для данной трущейся пары определяется интенсивность изнашивания в зависимости от пути трения при различных режимах резания (главным образом в зависимости от скорости резания v и подачи s), т. е. устанавливаются зависимости $l_{\text{тр}} = f(v)$: $l_{\text{тр}} = f_1(s)$.

За показатель интенсивности износа принимается:

1) износ при постоянном пути трения: $\frac{\Delta}{l_{\text{тр}}}$ или $\frac{w}{l_{\text{тр}}}$;

2) износ при постоянном объеме снятой стружки: $\frac{\Delta}{a \cdot b \cdot l}$ или $\frac{w}{a \cdot b \cdot l}$.

где Δ — линейный износ;

w — объемный износ.

Выбор того или иного критерия зависит от конкретной задачи исследования.

При резании же камней твердых пород главным видом износа является выкрашивание по передней поверхности. Стойкость инструмента определяется прочностью режущей кромки против выкрашивания и, задача стойкостных испытаний заключается в том, чтобы определить предельные подачи, глубины и скорости резания, допускаемые прочностью пластинки твердого сплава.

Устанавливая тот или иной вид ведущего износа, следует выбрать соответствующую методику испытания твердосплавного инструмента, с целью нахождения условий максимальной износостойкости режущего инструмента.

Помимо стойкостных испытаний, весьма важно значение составляющих работ резания и, в частности, работы трения. Без знания которых невозможно подойти к теоретическому решению задачи стойкости режущего инструмента.

Для примерной оценки составляющей работы резания пользуемся данными, полученными по ранее описанной методике [1], т. е. методикой определения сил, действующих на заднюю поверхность при различном ее износе, сохраняя неизменность стружкообразования при постоянстве прочих факторов. Так, для фельзитового туфа (Керлинского месторождения $\sigma_{с.н} = 575 \text{ кг/см}^2$) тангенциальная составляющая усилия резания определяется по формуле:

$$P_2 = 1,97 a^2 \cdot b + 1,91 \cdot b \Delta_2, \quad (1)$$

где a — толщина среза (мм);

b — ширина среза (мм);

Δ_2 — ширина площадки износа по задней поверхности в мм;

$x = 0,5$.

В этой формуле первый член представляет нормальное усилие, действующее на переднюю поверхность резца, а второй член — тангенциальное усилие, действующее на заднюю поверхность.

Так как удельное усилие резания $p = \frac{P_1}{a \cdot b} \text{ кг/мм}^2$ численно рав-

по удельной работе резания $p = \frac{P_c \cdot l}{a \cdot b \cdot l}$, кг.м.м/м.м², то при переходе к удельным значениям формула (1) примет вид:

$$p = \frac{1.97}{a^{1.1}} + \frac{1.91 \Delta_2}{a} \quad (2)$$

или $\frac{1.97}{a^{1.1}} = U_{с1}$; $1.91 \Delta_2 = U_{тp}$ и тогда $p = U_{с1} + U_{тp}$.

Первый член в правой части уравнения (2) характеризует удельную работу стружкообразования — $U_{с1}$, второй член характеризует удельную работу трения задней поверхности — $U_{тp}$. Графически эта закономерность показана на рис. 1. Как видно из рис. 1, доля работы трения в общем балансе работы резания возрастает с уменьшением толщины среза. Это и понятно, если учесть, что работа трения при одинаковых путях примерно постоянна, а объем снятой стружки растет пропорционально толщине среза, поэтому доля работы резания меняется с износом резца.

Как видно из рис. 1а, с уменьшением толщины стружки увеличивается $U_{с1}$ и $U_{тp}$, причем интенсивность роста удельной работы стружкообразования отстает от интенсивности роста удельной работы трения. Последняя закономерность имеет более выраженный характер при больших износах по задней поверхности.

Изложенная методика оценки работы резания возможно имеет недостатки, однако она дает наглядную картину изменения составляющей работы резания и допускает в первом приближении оценить долю работы отдельных составляющих в общем балансе работы резания.

Интересно также наблюдение за составляющими работы резания и зависимости от скорости резания при различных значениях износа по задней поверхности резца.

На рис. 2 показаны данные, полученные при резании норкского базальта ($\tau_{сж} = 1200$ кг/см²). Пересечение прямых с осью ординат характеризует усилие стружкообразования, а разность между ординатами различных точек прямых и усилием стружкообразования дает усилие, действующее на заднюю поверхность при различных значениях износа Δ_2 . Перейдя к удельным значениям работы можно оценить составляющие работы резания. Для случая, когда $\Delta_2 = 0,5$ мм, составляющие работы резания будут меняться так, как показано на

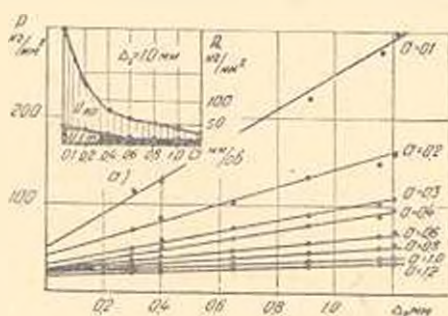


Рис. 1. Зависимость удельного усилия резания от толщины среза при различных значениях износа по задней поверхности. а) Изменение составляющей удельной работы резания в зависимости от толщины среза при $a = 1,0$ м.м., $v = 60$ м/мин, $b = 10$ м.м.

рис. 2а. Как видно из этого рисунка, работа стружкообразования остается постоянной, а работа трения по задней поверхности снижается с увеличением скорости резания, до определенного предела, после чего вновь возрастает.

Для оценки абразивности камня и для изучения влияния удельного давления и скорости скольжения на истираемость было сконструировано приспособление (рис. 3) по типу применяемого Э. И. Фельдштейном [5]. Сущность методики заключается в следую-

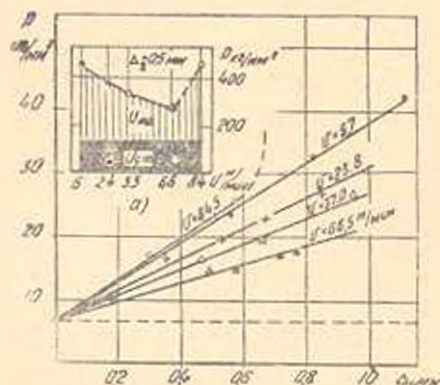


Рис. 2. Зависимость между удельными силами и скоростью резания при различных значениях наклона по задней поверхности ($b = 1 \text{ мм}$, $u = 0,032 \text{ м.м/об}$).

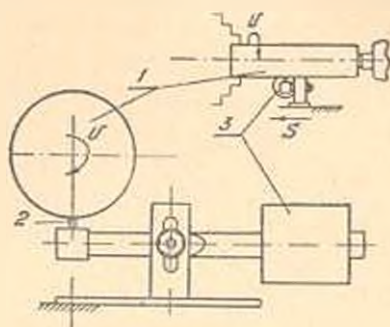


Рис. 3. Схема опытной установки для истирания. 1—камень; 2—образец твердого сплава; 3—груз.

щем. Камень закрепляется в патроне токарного станка и вращается различными скоростями; образец из твердого сплава ($F = 18,8 \text{ мм}^2$) прижимается к камню грузами и движется относительно камня по винтовой линии. Влияние удельного давления и скорости скольжения на износ твердого сплава при истирании его с базальтовым цилиндром показано на рис. 4 и 5. С увеличением удельного давления износ

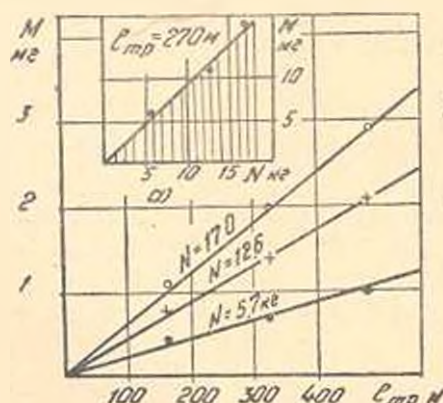


Рис. 4. Зависимость весового износа от пути трения при различных значениях давления ($v = 6,5 \text{ м.м/мин}$). а) связь между весовым износом и давлением.

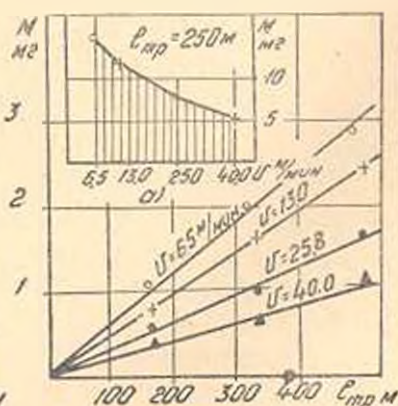


Рис. 5. Зависимость весового износа от пути трения при различных скоростях. ($N = 12,6 \text{ кг}$). а) связь между весовым износом и скоростью скольжения.

твёрдого сплава увеличивается, с увеличением же скорости скольжения при постоянном удельном давлении — уменьшается интенсивность изнашивания.

Изложенная методика дает возможность найти стойкость режущего инструмента при различных режимах резания, оценить составляющие работы резания, изучить абразивность обрабатываемого камня, влияние удельного давления скорости скольжения на изнашиваемость твёрдого сплава.

Институт стройматериалов и сооружений
Министерства строительства Армянской ССР

Поступило 10 V 1958

Կ. Ս. ՎԱՐԿԱՆՅԱՆ

ՔԱՐԻ ԿՏՐՄԱՆ ԸՆԹԱՑՓՈՒՄ ՇՓՄԱՆ ԵՎ ՄԱՇՎԱԾՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏԱՂՈՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՄԵԹՈԴԻԿԱՅԻ ՀԱՐՑԵՐԻ ՇՈՒՐՋԸ

Ա մ փ ո փ ու մ

Քնական քարերի կտրման ժամանակ կտրիչի մաշվածությունը օրինալափոխությունները փոխվում են կախված քարի կարծրությունից: Կտրող նյութերի մաշակայունությունը կտրիչի է որոշել ուղղակի կտրման ընթացքում և անուղղակի կերպով՝ մոդելացման միջոցով: Հաս որում, որպես մաշակայունության ինտենսիվություն կախված է ընդունված է՝ ա) մաշվածությունը հաստատուն կտրման ճանապարհի վեպքում, բ) մաշվածությունը հանված տաշեղի հաստատուն ծավալի դեպքում:

Հոդվածում կտրող գործիքի մաշակայունության որոշման համար առաջադրվում է հետևյալ փորձարկման մեթոդները:

1. Կտրող գործիքի նյութի հղկունակության որոշումը մոդելացման եղանակով (նկ. 3) — ում ցույց տրված սխեմայի համաձայն):

2. Կտրող գործիքի հղկունակության (կայունություն) որոշումը ուղղակի կտրման միջոցով: Ճվյալ վեպքում պետք է զանեկ մաշվածքի մեծությունը հետին նիստի ուղղությամբ կամ կշռալին մաշվածությունը հաստատուն կտրման ճանապարհի կամ հաստատուն տաշեղի ծավալի դեպքում, կախված կտրման տարրերի ուժիմներից և մշակվող քարի տեսակից:

3. Դործիքի կտրող եղրի ամրության որոշումը՝ կախված ուժի թուլությունից մեծությունից: Այսինքն որոշվում է կտրման խորության, արագության և մատուցման այն թուլատրելի սահմանային մեծությունները, որոնց օգտագործման դեպքում գործիքի կտրող եղրի ամրությունը դուրս չի գալիս թուլատրելի սահմաններից:

Հոդվածում մշակված է մեթոդիկա, որը հնարավորություն է տալիս գտնել կտրման աշխատանքի առանձին յուղադրիչների մեծությունները: Բերված է ֆելզիտային սուֆի և բաղալի կտրելու ընթացքում առաջացած կտրման աշխատանքի բաղադրիչների գնահատումը (նկ. 2, 3) տվյալ մեթոդիկայի հիման վրա: Բերված մեթոդիկան թույլ է տալիս գտնելու կտրող

գործիքի կալունությունը տարրեր կտրման հեմիմների շեղում, գնահատելու կտրման աշխատանքի բաղադրիչները, ուսումնասիրելու քարի հզկունակությունը, գործիքի մաշվածությունը՝ կախված անսակարար նմանություն և կտրման արագությունից:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Варданян К. С. Некоторые вопросы динамики резания камня. «Известия АН Армянской ССР», т. X, № 5, 1957.
2. Зорев Н. П. Вопросы механики процесса резания металлов. МашГИЗ, 1956.
3. Касьян М. В. К вопросу о резании естественных камней. «Строительство из естественных каменных материалов». Сб. статей ВНИТО строителя. М., 1951.
4. Касьян М. В., Тер-Азарьев Н. А., Акопов А. А. Характеристика износа режущего инструмента при обработке туфа, базальта и гранита. «Известия АН Армянской ССР», т. III, № 4, 1950.
5. Фельдштейн Э. И. Истирающая способность металлов. «Вестник машиностроения», № 11, 1952.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Ф. Г. АРУТЮНЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ДАВЛЕНИЯ ЗАЩЕМЛЕННОГО ВОЗДУХА В ПОРИСТЫХ КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛАХ И НОВЫЙ МЕТОД ЕГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ

1. Вводная часть

При соприкосновении с водой пористых каменных и других материалов, благодаря капиллярным силам, вода всасывается в их поры и капилляры и вытесняет из них находящийся там воздух. Явление это носит длительный характер и, в основном, зависит от эффективного диаметра пор и капилляров пористого тела. Немедленному и полному насыщению пористого тела водой в данном случае препятствует изолированная в нем от внешней среды защемленная часть воздуха.

Воздух, будучи гидрофобным и мало растворимым в воде веществом, в замкнутом состоянии, в пористых естественных и искусственных каменных материалах, как при обыкновенной, так и пониженных температурах, препятствует свободной миграции влаги в них. Учение о защемленном воздухе фактически только создается. В настоящее время имеются только отдельные, отрывочные высказывания о его влиянии на термодиффузию в глине и торфе [1], на процессы сушки капиллярно-пористых тел [2, 3], на влагосодержание грунтов, на качество обработки керамических масс [7] и т. д.

Будучи молодой областью науки, учение о защемленном воздухе только намечается и поэтому особенно нуждается в углублении, коренной разработке и теоретическом обобщении.

В этом направлении следует отметить прежде всего работу М. З. Симонова [4, 5], который, отрицая гипотезу об открытых и закрытых порах в каменных и бетонных материалах, прямыми опытами доказал, что неполное заполнение водой капилляров в указанных материалах объясняется образованием в них защемленного воздуха, и что давление защемленного воздуха не равно атмосферному. В своих экспериментах М. З. Симонов пользовался колбами В. В. Некрасова, примененными в свое время для определения контракции при твердении гидравлических вяжущих [6].

Определение давления защемленного воздуха в пористом заполнителе с помощью колб В. В. Некрасова производилось следующим образом. Бралась конусной формы стеклянная колба, емкостью 200—

еще и тем, что колба закрывалась после того, как пористый материал уже был намочен находящейся в ней водой, и вытесненная в начале эксперимента основная часть воздуха была утеряна. Указанное побудило нас предложить принципиально иной способ определения заземленного воздуха в гидрофильных пористых телах и для данной цели разработать и сконструировать новый прибор, в котором указанные недостатки колб В. В. Некрасова были устранены.

2. Описание нового прибора

В приборе нашей конструкции (см. рис. 1) определение давления заземленного воздуха производится следующим образом: развинчиванием болтов 3 с прибора снимается крышка 5, и высушенный и взвешанный образец 15 ставится на дно эмалированного сосуда 1. Образец 15 с помощью гонкой шелковой, или другой прочной нитки, подвязывается к крану 9, для чего нитка пропускается через отверстие этого крана и снаружи наматывается на него. Затем, на кран 9 надевается резиновая трубка 12, открывается кран 16 и поднятием склянки 14, сосуд 1 до уровня полного покрытия образца 15 заполняется ртутью, после чего кран 16 закрывается и прибор вновь собирается. После того, как прибор собран, вся система, включая стеклянные бюретки 6 и 11 полностью заполняется водой. Для заполнения бюретки 6 предварительно открывается кран 7 и бюретка 11 подымается вверх до тех пор, пока вода не начнет переливаться через кран 7, после чего кран 7 закрывается. Температура системы измеряется стеклянным термометром 18, вставленным в приваренное к крышке 5, металлическое гнездо 19. Эксперимент на собранной установке иногда длится от нескольких дней до нескольких недель, поэтому герметичность соединений ее отдельных узлов имеет весьма важное значение. Это на установке достигается резиновыми соединениями и резиновой прокладкой 4, зажимаемой болтами 3, между флянцами крышки 5 и сосуда 1. Герметичность на собранной установке проверяется длительным наблюдением за уровнем воды в бюретках 11 и 6. Убедившись в герметичности собранной установки, в журнале записей отмечается температура системы и уровень воды в бюретке 11, эксперимент начинается, поворачивается кран 9 и запускается хронометр.

Пробковый кран 9, через который пропущена поддерживающая под ртутью образец камня нитка, играет роль ножниц, так как поворотом крана 9 перерезается нитка, поддерживающая образец под ртутью и, вследствие разности удельных весов камень мгновенно всплывает на поверхность ртути и оказывается в водной среде. Поворотом крана 9 одновременно прерывается связь системы с баллоном ртути, и дальнейшие изменения объема системы отражаются только на показаниях бюретки 11, которая с внешней атмосферой сообщается через открытый конец.

Указанный прибор предотвращает потери воздуха из системы, позволяя с первых же секунд намокания камня одновременно определить количество впитанной в него воды и вытесненного из него воздуха, что достигается записью показаний двух бюреток—воды 11 и воздуха 6, на что требуется 10—12 секунд времени.

Во избежание искажений показаний бюреток 11 и 6, уровень воды в них всегда должен поддерживаться на одинаковой высоте. Вытесненный из камня воздух, благодаря конусообразной форме крышки 5, целиком собирается в бюретке 6, вследствие чего уровень воды в ней постепенно опускается. Если бы вода входила в камень в объеме равном объему вытесненного из камня воздуха, то в сообщающейся бюретке 11 уровень воды должен был оставаться на прежней высоте. Однако, как показал эксперимент, уровень воды в бюретке 11 также начинает опускаться, хотя выделившийся воздух целиком собирается только в бюретке 6. Это означает, что из пористой породы воздух вытесняется в меньшем объеме, чем насыщающаяся туда вода, т. е. отношение объема воды, пошедшей в камень к объему вытесненного из камня воздуха больше единицы ($\frac{V}{V'} > 1$). Из экспериментов вытекает, что зацементированный воздух в образце сжимается, что приводит к появлению избыточного давления.

3. Изучение зацементированного воздуха в каменных материалах при помощи нового аппарата

Для определения давления зацементированного воздуха нами были сняты характеристики фельзитовых туфов Калачинского, Туманянского и Цатерского месторождений и, для сравнения, вулканического туфа Аринджского месторождения, арктического туфа и литонидной пемзы. Всего исследовано шесть разновидностей камней. Испытанные образцы имели правильную геометрическую форму цилиндров ($d=50$, $h=50$ мм). Образцы перед испытанием были тщательно очищены от пыли, промыты в струе проточной воды и все вместе одновременно высушены в сушильном шкафу при температуре $110 \pm 5^\circ\text{C}$. Для создания идентичных условий испытаний, все шесть разновидностей камней испытывались одновременно, для чего была собрана батарея, состоящая из шести аппаратов. Температура помещения, где производились испытания в течение всего эксперимента, поддерживалась в пределах $24,5 \pm 0,5^\circ\text{C}$, чему способствовали умеренный летний климат и расположение лаборатории в подвальном помещении.

Результаты изучения зацементированного воздуха указанных образцов приводятся в таблице 1. В ней для каждой разновидности камня приводятся по два значения. На первой строчке показаны данные, соответствующие первой равновесной точке, а на второй — данные конечной равновесной точки, когда образец извлекался из аппарата. Как видно из таблицы 1, эксперимент для отдельных разновидностей

Величины давления защемленного воздуха для изученных видов пористых каменных материалов

Таблица 1

Наименование породы	Пористость, %	Объем пор образца, мл (P)	Продолжительность намокания, дни	Объем всосавшейся по образцу воды, мл (W)	Объем вытесненного из образца воздуха при обыкновенном давлении (B) мл	Заполнение пор образца водой, %	Объем оставшегося в образце воздуха, мл		Давление защемленного воздуха, атм	Насыщение этих же камней водой по времени (определено взвешиванием)	
							при обыкновенном давлении P-B	в сжатом состоянии P-W		продолжит намокания, дни	заполнение пор водой, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Цатерский фельзитовый туф	25,5	31,15	1 13	28,5 28,8	22,0 22,1	91,5 92,5	9,15 9,05	2,65 2,35	3,45 3,84	43	96,8
Гуманянский фельзитовый туф	22,1	28,71	7	26,6	19,5	92,6	9,2	2,11	4,35	43	95,4
Калачинский фельзитовый туф	32,0	30,62	15 19	25,3 26,60	20,4 22,6	82,5 87,0	10,22 8,02	5,32 3,93	1,92 2,04	164	100
Ариндский вулканический туф	30,0	28,70	0,83 19	20,5 22,94	16,1 17,3	71,5 80,0	12,6 11,4	8,2 5,76	1,54 1,98	328	97,2
Артикский туф	37,3	35,05	12 16	23,4 23,7	16,5 17,1	66,8 67,7	18,55 17,95	11,65 11,35	1,59 1,58	360	99,5
Литондская пемза	41,8	38,74	2,62 36	16,84 19,02	3,5 4,88	43,4 49,2	35,24 33,86	21,9 19,72	1,6 1,7	360	70

камней длился от 7 до 36 дней, после чего образцы были вынуты из приборов и взвешены. Взвешивание производилось с целью проверки точности показаний бюреток, причем всегда получалось точное совпадение данных количества впитавшейся в камень воды, измеряемого по бюреткам и получаемого взвешиванием. Извлеченные из аппаратов камни, после контрольного взвешивания были положены в воду для определения дальнейшего хода водонасыщения во времени. что производилось общепринятым методом (взвешиванием).

Подсчет давления заземленного воздуха по данным таблицы 1 производим следующим образом. После вытеснения части воздуха приведенной к обыкновенному давлению (столб. 8) будет равен разности общего объема пор камня P (ст. 3), и объема ушедшей из системы части воздуха B (ст. 6). В сжатом, заземленном состоянии объем его будет равен разности общего объема пор P и объема впитавшейся в камень воды W (ст. 5). По закону Бойля-Мариота в изотермическом процессе уменьшение объема приводит к увеличению его давления и, наоборот. Для получения давления заземленного воздуха D (ст. 10), необходимо получить отношение, показывающее во сколько раз объем изолированной части воздуха $P-B$ уменьшается в результате сжатия ($P-W$)

$$D = \frac{P-B}{P-W} \cdot \text{ата.} \quad (1)$$

Это отношение выражает значение абсолютного давления заземленного воздуха (ата). При желании выразить его в виде избыточного давления (ати), необходимо из значений абсолютного давления (ата) отнять значение барометрического давления. Результаты подсчета значения давления заземленного воздуха, полученные указанным выше способом, приводятся в столбце 10 (табл. 1).

Эти данные показывают, что значение давления заземленного воздуха у фельзитовых туфов почти вдвое больше, чем у остальных разновидностей изученных камней и колеблется в пределах от 2.04 до 4.35 ата.

4. Гипотеза о продолжительности существования заземленного воздуха в капиллярно-пористых материалах

Из таблицы 1 следует, что у фельзитовых туфов значения давлений заземленного воздуха для более короткого периода водонасыщения выше, чем для других пород при более продолжительном водонасыщении. Затем, заполнение пор образцов при повышенном значении давления заземленного воздуха выше, чем при пониженном давлении. Иначе говоря, высокому значению давления заземленного воздуха соответствует быстрое удаление из системы газовой фазы, и относительно быстрое насыщение пород водой. Из столбца 11 таблицы 1 видно, что пористые каменные породы при продолжительном

хранении под водой в конечном итоге полностью насыщаются водой. Причем фельзитовые туфы с высоким значением избыточного давления заземленного воздуха полностью насыщаются за 2—5 месяцев, а другие породы с относительно низким избыточным давлением—за более продолжительные сроки. Так, ариджский туф за 12 месяцев, аргилеский туф за 13 месяцев, а литондская пемза за еще более продолжительный срок. Из сказанного вытекает, что наличие в камнях хотя бы небольшого избыточного давления заземленного воздуха в конечном итоге приводит к полному их водонасыщению во времени. Процесс образования избыточного давления и механизм удаления воздуха из системы можно осветить следующим образом. При намокании гидрофильных пористых каменных материалов, благодаря отрицательному капиллярному давлению, вода, насыщаясь в их поры и капилляры, начинает вытеснять из них воздух. После свободного ухода части воздуха, другая часть изолируется в камне. Если капиллярные силы велики и дальше могут отжать воду и камень, то в изолированной части воздуха может возникнуть избыточное давление, воздух зажимается. Избыточное давление заземленного воздуха в дальнейшем приведет к дополнительной растворимости газов в скелете камня (закон Генри), к появлению градиента концентрации и диффузии (закон Фика). Иначе говоря, при наличии избыточного давления, зажатый воздух, растворяясь и диффундируя через заполненные водой поры и капилляры, постепенно, но целиком уйдет из камня, уступив свое место воде. Камень во времени полностью насытится водой, медленно, но окончательно. Следует особенно подчеркнуть, что *повышенное избыточное давление заземленного воздуха приводит к быстрому удалению из системы газовой фазы*, что обусловлено повышенной растворимостью газов, высоким градиентом концентрации и ускоренной диффузией. Это основной вывод нашей работы и его мы выдвигаем в качестве гипотезы. Это позволяет нам сделать и другие выводы, а именно:

а) повышенное давление заземленного воздуха может возникнуть у тел с относительно меньшим эффективным диаметром пор и капилляров, т. е. у тел мелкопористых, которые насытятся быстрее крупнопористых;

б) растворимость кислорода в воде больше растворимости азота, поэтому зажатый воздух в скелете камня со временем должен обогащаться азотом. Анализ газов в этом случае может служить мерой степени сжатия газов в камне и размеров пор и капилляров последнего. Наблюдения показали, что зажатый воздух из камня уходит вначале крупными, а затем мелкими пузырьками не равномерно, а рывками, что должно соответствовать отдельным фракциям пор и капилляров камня. Последние рассуждения показывают, что более глубокое изучение зажатого воздуха позволит вывести также и закономерности структурного характера камней, увязав их со значениями избыточного давления.

Ныне господствует представление о вечном сосуществовании жидкой и газовой фаз в капиллярно-пористых гидрофильных телах. С этой целью предложены коэффициенты насыщения, морозостойкости (в керамике), понятие о „открытых“ и „закрытых“ порах и т. д. Не трудно убедиться, что с точки зрения иного подхода, все указанное для изученных нами камней является необоснованным. Сказанное подтверждается и тем, что при вакуумировании все капилляры каменных материалов полностью насыщаются водой.

Причина улучшения качества вылеживающейся керамической пластичной массы пока не объяснена [7]. Она очень просто объяснима выдвинутой нами гипотезой. В увлажненной керамической пластичной массе воздух находится в защемленном состоянии под избыточным давлением и по своему химическому составу несколько отличается от обыкновенного. При продолжительном вылеживании массы, защемленный воздух постепенно уходит из системы диффузией, а уход гидрофобного воздуха улучшает качество массы.

С точки зрения выдвинутой нами гипотезы, вакуумирование мелкопористой керамической массы и свежесформованного бетона должно повышать степень их водонасыщения. Иначе говоря, вода еще глубже должна вглубь входить в поры и капилляры камня, а воздух должен уходить оттуда путем диффузии. Но, с другой стороны, вода может быть и отжата из крупных пор и капилляров, если капиллярное давление окажется меньше силы, создаваемой разрежением. Низкая морозостойкость мелкопористых тел, по сравнению с крупнопористыми, также должна быть объяснена с точки зрения влияния защемленного воздуха, ибо в мелкопористых телах давление защемленного воздуха относительно высокое и он быстро удаляется из системы и поэтому морозостойкость камней уменьшается. Временное или окончательное снижение водопоглощения и повышение морозостойкости гидрофобированного бетона, строительного кирпича [8] и др. материалов, также можно объяснить с точки зрения этой гипотезы. Если воздух в пористом камне заменить аммиаком или другим, более растворимым в воде газом, чем воздух, что можно осуществить непродолжительным продуванием камня аммиаком, то эффект защемления в процессе водонасыщения можно свести к нулю. В заключение надо подчеркнуть необходимость дальнейшего глубокого исследования состояния и поведения защемленного воздуха в пористых материалах вообще.

Институт стройматериалов и сооружений

Министерства строительства

Армянской ССР

Поступило 20 X 1957

Ֆ. Գ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՈՒՆ

ԾԱԿՈՏԿԵՆ ՔԱՐԱՆՅՈՒԹԵՐՈՒՄ ՄԵԿՈՒՍԱՅՎԱԾ ՕԳԻ ԶՆՇՄԱՆ
ՄՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՎ ԱՅԴ ԶՆՇՄԱՆ ՄԵՍՈՒԹՅՈՒՆԸ
ՈՐՈՇԵԼՈՒ ՆՈՐ ՄԵԹՈԴԸ

Ա. Բ. Փ. Ս. Փ. Ս. Մ

Մակուտկեն շինարարական քարերը թրջելիս նրանց մեջ հղած ոգի մի մասը անընդհատ ներթափանցող ջրով արտաքին միջավայրից մեկուսանում և սկզբում քարից հեռանալ չի կարողանում: Մարի նկատում ալդ ոգի մեջ սուս է գալիս հալելիս ճնշում:

Մեր կողմից հայտնադրված և պատրաստված է մի սարք, որը հնարավորություն է տալիս որոշել ալդ մեկուսացված ոգի րացարձակ ճնշումը, որից հանելով բարոմետրիկ ճնշումը ստանում ենք հալելիս ճնշումը:

Երբ սարքի օդնութվամբ մի քանի շինարարական քարերի համար որոշված են րացարձակ ճնշման հետևյալ արժեքները՝

Թումանյանի ֆելդիտային տուֆի համար	4,35 առ.
Ծաթերի	3,81 »
Ղալաչալի	2,04 »
Ասինջի սովորական	1,98 »
Արթիկ տուֆի	1,58 »
Լիսոփղային պեմզալի	1,60 »

Փորձերը ցույց տվեցին, որ բարձր հալելիս ճնշմանը համապատասխանում է ոգի համեմատաբար արագ հեռացում և քարերի ջրով լրիվ և րաց հագեցում: Ֆելդիտային տուֆերը ջրով լրիվ հագեցնում են 2—3 ամսում, Ասինջի տուֆը՝ 12 ամսում, Արթիկի տուֆը՝ 13 ամսում, իսկ լիսոփղային պեմզան՝ ալիկի ուշ:

Ստացված արդյունքները հնարավորություն տվեցին առաջարկել մի նոր հիպոթեզ, ըստ որի քարի ներսում ոգի հալելիս ճնշման սովորական զեպրում, մեծանում է նրա լուծելիությունը ճնշված ոգի և ջրի կոնսակում, առաջանում է կոնցենտրացիաների տարբերություն և ողը, լուծված վիճակում ջրով լցված մաղական խողովակներով գիֆուպիալով քարի ներսից հեռանում է, փնջելով իր տեղը ջրին:

Առաջարկված հիպոթեզը բացատրում է տեխնիկայի մի շարք չլուծված հարցերը, ինչպես որինակ՝ մանրածավալուն լոնական և արհեստական քարերի ցածր ցրտակալունությունը, կերամիկական թաց մասսալի որակի բարձրացումը երկարատև պահելիս, ջրի միգրացիայի և լույս կուսակման ու զալիս ֆազի փոխարարելիության, ինչպես նաև հիդրոֆորիզացման հարցերը: Ըստ ալդ հիպոթեզի, քարում մեկուսացված և հալելիս ճնշման տակ գտնվող ողը արտաքին ոգի հետ համեմատած պետք է հարստացած լինի ազոտով, և ալին:

ЛИТЕРАТУРА

1. Наседкин Н. А., Покровский Г. И. О термозафузии в глине и горфе. Журн. Технической физики, т. 9, 1515, 1939.
2. Лыков А. В. Теория сушки. М.—Л., 1957.
3. Лыков А. В. Явления переноса в капиллярно-пористых телах. ГИИТЛ, М., 1954.
4. Симонов М. Э. Самовакуумирование легкого бетона. Известия АН АрмССР, т. VII, № 5, 67—69, Ереван, 1964.
5. Симонов М. Э. Бетон и железобетон на пористых заполнителях. М., 1955.
6. Некрасов В. В. Изменение объема системы при твердении гидравлических вяжущих. Известия АН СССР, № 6, 1945.
7. Бутт Ю. М., Дудероф Г. Н., Матвейев А. А. Общая технология силикатов. М., 1950.
8. Жигалкович В. Ф., Штады В. В. Изменение водопоглощения и морозостойкости строительного кирпича при нанесении на него кремнеорганических соединений. Сборник научных работ, вып. V, НИИ стройматериалов МПСМ, Минск, 1957.

ГРУНТОВЕДЕНИЕ

Ю. Л. АВЕТИКЯН

О МЕТОДИКЕ ДЕЗАЭРИРОВАНИЯ ПОР ГАЗОНАСЫЩЕННЫХ
ПЕСКОВ ПРИ ЛАБОРАТОРНОМ ИЗУЧЕНИИ ИХ
ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ

Определение коэффициента фильтрации производится различными методами. В настоящее время наибольшее распространение получил лабораторный метод, основанный на непосредственных наблюдениях за фильтрацией воды через исследуемый грунт в фильтрационных приборах различной конструкции. При таком определении коэффициента фильтрации, результаты опыта в большей мере зависят от степени влияния на процесс фильтрации чрезвычайного разнообразия одновременно действующих побочных факторов, а именно: химсостава и загрязненности воды, гидродинамического давления воды, газонасыщенности грунта и воды, температуры грунта и воды, сил поверхностного натяжения, конструктивных недостатков фильтрационных приборов, ошибок измерений и др., которые не только искажают процесс фильтрации в целом, но и, что особенно важно, искажают действительную величину определяемого во времени коэффициента фильтрации.

При хорошей организации лабораторных работ и наличии соответствующего оборудования и измерительной аппаратуры, влияние на процесс фильтрации большинства из перечисленных выше факторов может быть полностью устранено или сведено к минимуму. Однако, устранение влияния на процесс фильтрации газонасыщенности грунта связано, как показывает подробный анализ вопроса, с определенными трудностями, преодоление которых не всегда представляется возможным.

При лабораторном изучении фильтрации вопрос о газонасыщенности грунтового образца тесно связан с методикой загрузки фильтрационного прибора, так как при этом не удается добиться такого положения, чтобы все грунтовые поры были заполнены водой, почему и часть из них оказывается заполненной воздухом. В дальнейшем, при фильтрации воды часть воздуха уходит из пор, а оставшаяся часть остается в них в виде так называемого «защемленного» воздуха. Присутствие в грунтовых порах «защемленного» воздуха уменьшает площадь сечения поровых каналов. В зависимости от давления и температуры окружающей среды пузырьки такого воздуха сжимаются или расширяются, а процесс фильтрации оказывается неустойчивым и пуль-

сирующим во времени. „Защемленный“ воздух влияет также на величину коэффициента фильтрации и, в зависимости от количества грунтового воздуха, определяемый коэффициент фильтрации может уменьшиться на 30—50% и более, против случая полного насыщения пор грунтовой водой. Наконец, грунтовой воздух является причиной того, что водопроницаемость в начале опыта падает, а в конце увеличивается, хотя и общий напор на фильтрационной установке остается постоянным. Следует указать, что газонасыщение грунтовых пор может происходить не только в процессе загрузки фильтрационного прибора. Источником газонасыщения может служить и фильтрующая вода, если в ней содержится воздух или другие газы, которые, при некоторых условиях, выделяются из воды и „запляют“ грунтовые поры.

В современной лабораторной практике уменьшение газовыделения из фильтрующей воды обеспечивается, в основном, следующими методами:

1. предварительной дегазацией воды или применением в качестве фильтрата дистиллированной воды;
2. созданием условий, когда в процессе фильтрации газовыделение из воды становится невозможным.

При втором методе, согласно И. М. Герсеговану [2], необходимо выполнить следующие условия:

- а) поддерживать температуру фильтрующей воды выше или равной температуре исследуемого грунтового образца;
- б) поступающую в грунт воду нагнетать;
- в) движение воды в грунте должно по мере продвижения характеризоваться повышением давления в каждой ее частице.

Выполнение этих трех условий, устраняющих влияние газонасыщенности воды на результаты опыта приводит, согласно [2], к схеме фильтрационного прибора, показанного на рис. 1.

Однако, если влияние на фильтрацию газонасыщенности только воды может быть в той или иной степени уменьшено методами, указанными выше, то в лабораторной практике все еще не имеется сколько-нибудь удовлетворительного метода, позволяющего полностью

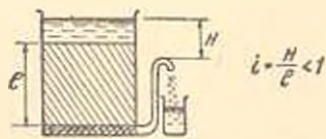


Рис. 1.

удалить из грунтовых пор защемленный в них воздух. В литературе имеются рекомендации, которые по мнению их авторов должны устранить влияние газонасыщенности грунта на процесс фильтрации (загрузка грунта в фильтрационный прибор с одновременным насыщением

грунтовых пор водою, вакуумирование грунта, подача воды по направлению снизу-вверх, применение теплой воды и др.). Однако, соответствующий анализ приведенных в литературе данных, а также наши опыты по фильтрации показали, что все эти рекомендации неполноценны и не обеспечивают полного удаления защемленного в грунтовых порах воздуха не только в процессе загрузки фильтраци-

онного прибора, но и даже при дальнейшей, довольно продолжительной во времени (10—20 дней) фильтрации воды через грунт.

Нами разработана принципиальная схема дегазационной установки, которая, в отличие от существующих схем, в процессе фильтрации одновременно обеспечивает:

1. условия, при которых совершенно исключается какое бы то ни было газовыделение из воды;
2. сравнительно быстрое удаление из грунтовых пор заземленного воздуха.

При выработке излагаемой ниже методики, нами были проведены многочисленные опыты по фильтрации через различные пески, причем в качестве фильтрата применялись: вакуумированная с помощью вакуум-насоса водопроводная вода; нагретая до постоянной температуры 30°C водопроводная вода; дистиллированная вода; дистиллированная вода, нагретая до 30°C, причем осуществлялся кругооборот определенного объема воды с помощью автоматического устройства.

Во всех случаях опыты проводились по схеме рис. 1 с той лишь разницей, что уровень воды нижнего бьефа поддерживался на 2 метра выше отметки нижней крышки фильтрационного прибора.

Пески различных фракций загружались в стеклянную трубку ($d = 40$ мм, $l = 900$ мм), снабженную по высоте с обеих сторон шестью рядами пьезометрических отростков. В процессе фильтрации, в поры исследуемого грунта искусственно вводилось различное количество воздуха. Через стекло трубки можно было следить за скоплением или уменьшением воздуха в грунтовых порах вблизи стенок трубки. Во время опытов велись наблюдения по всем пьезометрам за ходом изменений давлений в грунте. По формуле Дарси вычислялись соответствующие коэффициенты фильтрации (при постоянном напоре на установке) и строились зависимости $K = K(t)$.

Не имея возможности в данной статье подробно рассмотреть результаты экспериментов, полученных в случае применения указанных выше методов дегазации водопроводной воды, отметим лишь то важное обстоятельство, что во всех случаях определяемые значения коэффициента фильтрации были получены изменяющимися во времени, а в некоторых случаях и резко разняющимися друг от друга, хотя и напор на установке оставался постоянным.

Ниже рассматривается предлагаемая принципиальная схема дегазационной установки. Известно, что растворимость газов в воде увеличивается с понижением температуры и повышением давления. Согласно закона Генри-Дальтона имеем

$$g = \alpha \cdot \frac{P}{P_0},$$

где g — количество растворенного в воде газа в кг/м³;

α — коэффициент абсорбции газа водой в кг/м³;

P — парциальное давление газа над поверхностью воды в кг/м^2 ;
 $P_0 = 10.333 \text{ кг/м}^2$ (нормальное атмосферное давление).

Эта закономерность и была нами принята в основу рассматриваемой методики дегазации грунтовых пор.

Фильтрационная установка (рис. 2), состоящая из 3-х частей (собственно фильтрационный прибор; дегазационная установка; автоматическое устройство для отвода профильтрованной воды) работала следующим образом. В бак верхнего бьефа (7) поступала водопроводная вода ($t = 10-14^\circ\text{C}$), которая нагревалась с помощью нагревателя (33) до 40°C , причем постоянство температуры нагрева регулировалось электроконтактным термометром (34). Так как вода в баке непрерывно перемешивалась, то в шланг (12) поступала вода с постоянной температурой нагрева 40°C . Далее, по пути следования к фильтрационному прибору (19), вода пропусклась через холодильник, представляющий из себя бак (14), емкостью 30 литров со змеевиком из шлангов (13), длиной 20 метров, где вода двигалась по направлению сверху-вниз. Одновременно по шлангу (15) в бак, через ее нижнюю часть, непрерывно поступала холодная водопроводная вода, двигающаяся в баке снизу-вверх, которая после интенсивного перемешивания, с помощью особого устройства, отводилась через верхнюю ее часть, через трубку (17) в сборный бак (10). Нагретая до 40°C водопроводная вода после прохождения через холодильник охлаждалась до $t = 13-16^\circ\text{C}$ и через шланг (18) поступала в фильтрационный прибор. Так как температура воздуха в лаборатории, где проводились эксперименты, была всегда выше $13-16^\circ\text{C}$, то шланги (18) и (20) были в свою очередь заключены в другие шланги большего диаметра, по которым так же непрерывно циркулировала холодная водопроводная вода. С этой же целью омывалась током холодной воды и фильтрационная трубка (19). Таким образом удавалось температуру фильтрующей через прибор воды поддерживать практически постоянной (колебания температуры фильтрата в течение дня не превышали $0,2-0,5^\circ\text{C}$).

Сущность изложенной выше методики дегазации грунтовых пор заключается в следующем. Предварительно нагретую до 40°C газонасыщенную водопроводную воду пропускают через холодильник, где ее температура понижается до $13-16^\circ\text{C}$. Понижение температуры фильтрата на $24-27^\circ\text{C}$ с одной стороны и наличие определенного давления в фильтрационном приборе ($0,2 \text{ атм.}$) с другой стороны резко увеличивает растворимость газов в воде (в нашем случае углекислоты на 80% и кислорода на $53,3\%$), вследствие чего в фильтрационный прибор поступает уже вода с определенным дефицитом газа в ней. Поэтому в процессе фильтрации не только не должно происходить газовыделение из воды, но, что особенно важно, в фильтрующей воде должен раствориться воздух, заземленный по какой либо причине в грунтовых порах, и вместе с водой выноситься наружу. Преимуществом такой методики, против обычно принятых на практике мето-

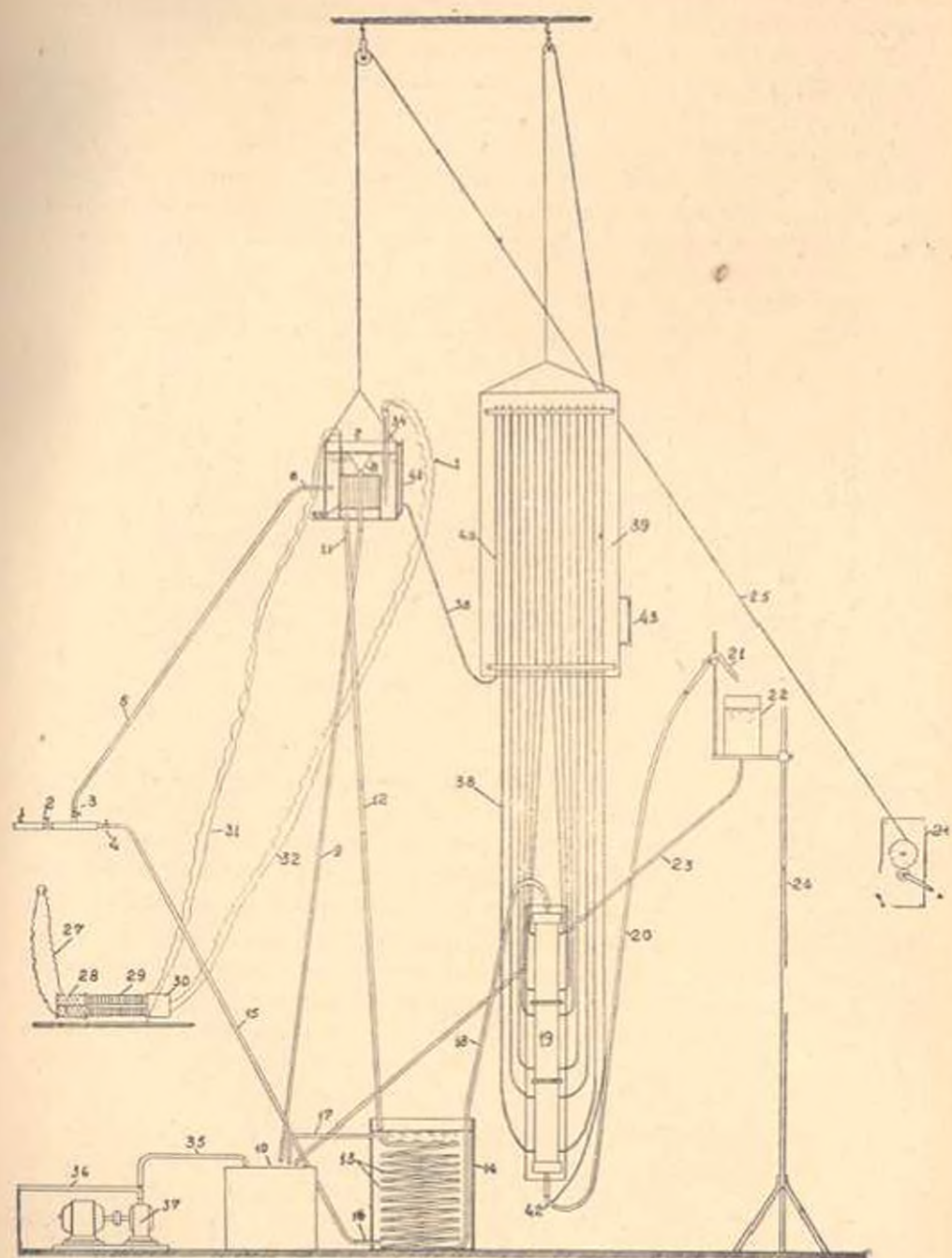


Рис. 2.

лов дегазации воды является то, что уже после нескольких часов непрерывной фильтрации последняя принимает стационарный характер (на всего периода исследования. Известно, что с этой же целью различные авторы [1], [3], [4] и другие в своих опытах по фильтрации через пески пропускали воду непрерывно, в течение нескольких дней и недель, и даже после этого им не всегда удавалось получить вполне устойчивую по времени фильтрацию, хотя и напор на установке оставался постоянным. На рис. 3 приводятся некоторые из полученных нами зависимостей $K = K(t)$, характеризующие фильтрацию через одни и

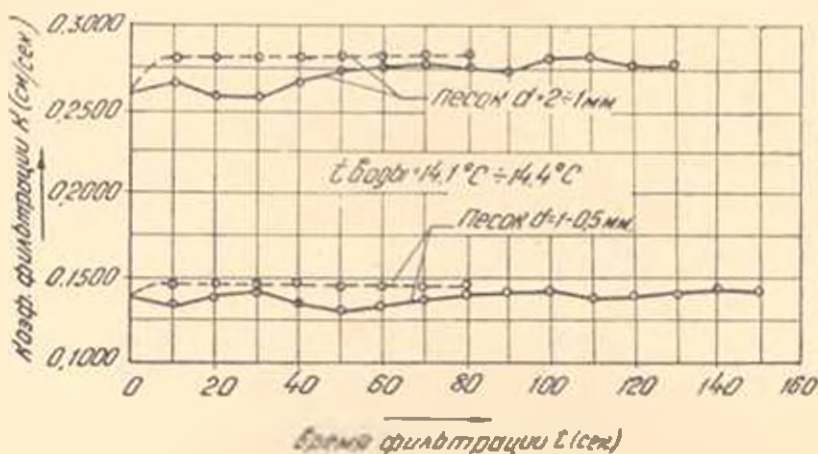


Рис. 3.

тот же грунт при различных методах дегазации фильтрата. В одном случае, когда в качестве фильтрата применялась вакуумированная водопроводная вода (на рис. 3 сплошная линия) фильтрация через крупнозернистый песок с диаметром зерен $d = 2-1 \text{ мм}$ носит явно переменный характер в первые 56 часов, несмотря на постоянство температуры воды и общего напора на установке. В дальнейшем колебание значений коэффициента фильтрации выражено слабо, но все же фильтрационный процесс не носит стационарного характера.

Неустановившийся характер процесса фильтрации усматривается также и из зависимости $K = K(t)$, полученной для случая среднезернистого песка с диаметром зерен $d = 1-0,5 \text{ мм}$ (рис. 3), где изменение значений коэффициента фильтрации наиболее резко выражено в первые 80 часов. Однако и далее фильтрация все еще носит пульсирующий характер. Указанные грунты были исследованы на фильтрацию и более длительное время, в продолжении 10–15 суток, однако и тогда наблюдались колебания коэффициента фильтрации. Аналогичные результаты для данных грунтов были получены и в другой серии опытов, когда была применена не дегазированная вода, а так же в случае, когда придерживались рекомендуемых литературой методов дегазации воды. В случае, когда вышеуказанные грунты были исследованы на фильтрацию при тех же условиях, но с применением предлагаемой

методики дегазации фильтрата, нами были получены данные, резко отличающиеся от рассмотренных выше (пунктирная линия на рис. 3). Здесь изменение значения коэффициента фильтрации наблюдается в первые 3—4 часа (для крупнозернистого песка) и 5—6 часов (для среднезернистого песка), после начала опыта. Далее, независимо от времени определения, значения коэффициента фильтрации остаются постоянными, что указывает на установившийся режим фильтрации. По данной методике нами были исследованы на фильтрацию и другие песчаные грунты ($d = 0,5-0,25$ мм, $d = 0,25-0,10$ мм, смешанный с фракциями от 0,05 мм до 2 мм, слоистый грунт, составленный из трех различных однородных по высоте слоев и др.) и во всех случаях были получены данные, указывающие на сравнительно быстрое установление режима фильтрации.

Изложенная методика была применена для уточнения ряда вопросов, связанных с лабораторным исследованием фильтрационных свойств песчаных грунтов. Многочисленные опыты (более 350), проведенные в гидротехнической лаборатории Ереванского политехнического института привели нас к следующим выводам:

1. Результаты лабораторного изучения фильтрационных свойств грунтов зависят, в основном, от степени влияния на процесс фильтрации различных побочных факторов, искажающих фильтрацию, в особенности газонасыщенности грунта и воды. Рекомендуемые в литературе методы устранения влияния последних на процесс фильтрации не являются полноценными.

2. Предлагаемая в работе методика дегазации грунтовых пор песков, в отличие от существующей, обеспечивает условия фильтрации, при которых газовыделение из воды становится невозможным, а заключенный в грунтовых порах воздух сравнительно быстро растворяется и с фильтруемой водой выносится наружу.

3. Преимуществом такой методики следует считать и то, что она может быть применена для определения коэффициента фильтрации песков с нарушенной и ненарушенной структурой.

4. В качестве фильтрата можно применять газонасыщенную воду, которая, согласно предложенной методике, может быть сравнительно легко превращена в воду, поглощающую воздух и газы из грунтовой массы.

5. Применение данной методики позволяет в лабораторных условиях получать устойчивый, стационарный во времени режим фильтрации, независимо от степени газонасыщенности грунта и фильтруемой воды. Это очень важно в том смысле, что определяемые во времени значения коэффициента фильтрации, при прочих равных условиях, будут свободны от искажения.

ՅՈՒՆ. Լ. ԱՎԵՏԻ-ԲԱՅԷՆ.

ԳԱԶԱՀԱԳԵՑՎԱԾ ԱՎԱԶՆԵՐԻ ՖԻԼՏՐԱՅԻՈՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ
ԼԱՐՈՐԱՏՈՐ ՌԵՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ ԾԱԿՈՏՅՈՒՆՆԵՐԻ
ՌԳԱԶՐԿՄԱՆ ՆՂԱՆԱԿԻ ՄԱՍԻՆ

Ա մ փ ո ւ փ ո լ մ

Հողվածում նկարագրվում է ավազների դրոնտային ծակոտիների օդա-
գրքկման առաջարկվող նոր եղանակ, որը դոլաթլուն ունեցող եղանակներից
տարբերվում է. ապահովելով ֆիլտրացիայի պրոցեսում ախպիսի պայման-
ներ, ինչպիսիքներն են՝ ջրից գազանջատման լուրաքանչլուր հնարավորաթլուն,
գրոնտային ծակոտիներում պարփակված օդի համեմատաբար արադ հեռա-
ցում:

Նշված մեթոդիկայի մշակման ժամանակ բաղմաթիվ փորձարկումներ է
կատարված տարեր ֆրակցիաների ավազների ֆիլտրացիայի վերաբերլալ.
ընդորում փորձերը կատարվել են համաձալն նկ. 1 բերված սխեմալի Բեր-
ված են նաև փորձարկումներից ստացված որոշ արդյունքներ ԼՅ—ԼՅ 1 Փունկ-
ցիալի ձևով:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Андрущенко А. Г. «Сравнительное рассмотрение способов определения коэффициентов фильтрации на приборах типов Дарси и Форхгеймера». Сборник трудов Украинского отделения института ВОДГЕО, Харьков, 1910 г.
2. Герсенова Н. М. «Опыт разлнтия динамики грунтовой массы». Сборник «Исследование работы грунта и железнодорожных сооружениях» Трансжелдоризлат, М., 1910 г.
3. Зауербрый Н. Н. «К вопросу о коэффициенте фильтрации грунтов и методике его исследований». Известия НИИ гидротехники, том V, 1931 г.
4. Пузыревская Т. Н. «Просачивание воды через песчаные грунты». Известия НИИГ, т. 1, 1931 г.

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

М. Г. МАНВЕЛЯН, А. Ф. МЕЛՆԻԿ-ԱՒՆԱԶԱՐՅԱՆ, Կ. Ա. ԿՕՏԱՆՅԱՆ,
 Շ. Օ. ՈՒԼՇԱԴՅԱՆ, Ե. Ա. ԵՐՅՆԿՅԱՆ

ОБ ОДНОМ СЛУЧАЕ ИЗНОСА ЭЛЕКТРОДА В СТЕКЛОВАРЕННОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЕЧИ

Одним из важнейших показателей работы стекловаренных электрических печей является работа электродов, которая определяет длительность работы печи, качество стекла и к.п.д. печи. На стекольных заводах Армении уже давно с успехом применяются стальные электроды для варки различных видов стекла [1]. Опыты, проведенные в Химическом институте АН Армянской ССР, показали, что электроды из стали марки ЭИ-439 могут применяться в печах для варки электроколбочного стекла.

При нормальных условиях работы печи эти электроды могут работать без искусственного охлаждения, что приводит к значительному повышению к.п.д. печи без увеличения степени разъедания электродов расплавленной стекломассой [2]. Для обеспечения нормальной работы электродов необходимо строгое соблюдение определенного теплового режима электрода. С этой точки зрения следует отметить работу электродов электропечи Ереванского электролампового завода.

Печь производительностью 5 тонн в сутки была выложена из шамотных брусьев, с протоком и семью парами электродов из стали ЭИ-439.

Форма электродов, размеры и расположение приведены на рис. 1.

В течение 4 месячной работы печи, в особенности первого месяца ее работы, электроды подверглись усиленному охлаждению водой, ввиду недостатка воздуха, до температуры наружной части их 700-800°С.

Особенно сильному охлаждению водой подвергались электроды левой стороны (по производственному потоку) печи. В результате сильных натяжений, возникших в электродах, на толстых частях многих электродов образовались трещины

(рис. 2), которые способствовали еще более сильному разъеданию электродов со стороны расплавленной стекломассы. Уже к первому месяцу работы печи вытекание расплава из трещины электродов привело к наружной стороне электродов приварить железные защитные пластинки, которые, хотя и предотвратили вытекание расплава, однако сильно ухудшили тепловой и электрический режим работы электродов и привели к сильному растворению торцевой части электродов. Проникшее через трещину расплавленное стекло заполняло промежуток между приваренной пластинкой и толстой частью электрода, создавая плохо проводящий теплопровод

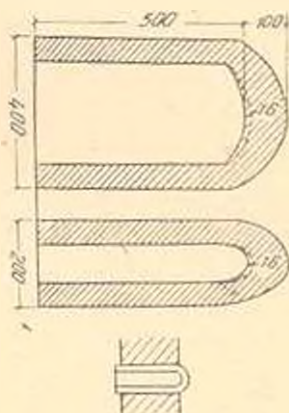


Рис. 1. Схема стальных электродов, их разъедания с наружной стороны и расположения в стене ванны печи.

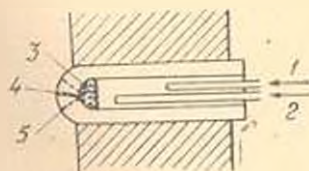


Рис. 2. Схема разъедания стальных электродов при их одновременном охлаждении воздухом и водой: 1) вода; 2) воздух; 3) застывшая стекломасса; 4) начальная трещина; 5) граница разъедания электрода после кампании печи.

Вследствие этого обмываемая расплавленным стеклом головка электрода подвергалась сильному перегреву, что привело к ее разъеданию и охлаждению. После остановки печи и выпуска стекломассы под электродами, на полу печи, была обнаружена расплавленная масса материала электрода.

Кроме того, в результате действия водяных паров и высокой температуры, головка электрода подвергалась наугу также и с охлаждаемой стороны, достигающему 15–20 мм (на рис. 1 это разъедание показано пунктиром). При этом на электродах образовалась окисная пленка, которая периодически очищалась. Окисная пленка (толщина которой иногда достигала до 1 мм) вызывала перегрев головной части электродов вследствие ухудшения теплопроводности. Очень часто замечалась трещина на образовавшейся пленке, которая отличалась более ярким свечением.

Следует отметить, что пара электродов, находящаяся в рабочей части печи охлаждалась только воздухом, не была разъедана с охлаждаемой стороны и сохранила свои первоначальные размеры. Электроды из того же материала, установленные в опытной электропечи Химического института, которые в течение 7 месяцев работали с воздушным охлаждением, при температуре наружной поверхности электродов 850–920°C в около 1,5 месяцев без охлаждения (температура наружной поверхности 1050–1130°C), также не подверглись разъеданию с наружной стороны и сохранили свои первоначальные размеры.

Следует отметить, что охлаждение электродов подолой, примененное М. А. Бабаджанян, В. С. Миняево и В. А. Ильинским в полупромышленной печи, также привело к быстрому разъеданию электродов [3].

Опыт электроплавки стекла показывает, что наилучшим способом охлаждения электродов пристенного типа является воздушное охлаждение, при этом наиболее значительное имеет режим работы электродов

Химический институт
АН Армянской ССР

Поступило 15 III 1956

ЛИТЕРАТУРА

1. Сборник научных работ по стеклу, Москва, Промстройиздат, 1960.
2. Миняево М. Г., Медик-Аматарова А. Ф. и др. Известия АН Армянской ССР, VIII, стр. 65, 1955.
3. Бабаджанян М. А., Миняево В. С., Ильинский В. А. Стекло и керамика, № 3, 1956.

М. Г. ХАЧЯН

СТРУННЫЙ ДИНАМОМЕТР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА

При опытах, связанных с решением ряда технических задач, требуется измерение крутящего момента. Известны индукционный, фотоэлектрический, тензострический и другие методы измерения крутящего момента. Применение этих методов часто бывает затруднительно, особенно при больших скоростях вращения. В частности, такие обстоятельства, как наличие переходного сопротивления при щеточных контактах, или конструктивные затруднения, связанные с применением ртутных контактов, приводят к усложнению приборов. В предлагаемом ниже методе крутящий момент преобразуется в колебания электрического тока, с помощью трансформатора с вращающейся первичной обмоткой.

На рис. 1 приведена электрическая схема динамометра автора. На валу, при помощи хомутов, закрепляются два крошгейна, между которыми поперек вала натягивается тонкая стальная струна. При деформации вала, под влиянием крутящего момента крошгейны вместе с хомутами перемещаются, натягивая или ослабляя струну.

Вследствие этого обмываемая расплавленным стеклом головка электрода подвергалась сильному перегреву, что привело к ее разъеданию и охлаждению. После остановки печи и выпуска стекломассы под электродами, на полу печи, была обнаружена расплавленная масса материала электрода.

Кроме того, в результате действия водяных паров и высокой температуры, головка электрода подвергалась наугу также и с охлаждаемой стороны, достигающему 15–20 мм (на рис. 1 это разъедание показано пунктиром). При этом на электродах образовалась окисная пленка, которая периодически очищалась. Окисная пленка (толщина которой иногда достигала до 1 мм) вызывала перегрев головной части электродов вследствие ухудшения теплопроводности. Очень часто замечалась трещина на образовавшейся пленке, которая отличалась более ярким свечением.

Следует отметить, что пара электродов, находящаяся в рабочей части печи охлаждалась только воздухом, не была разъедана с охлаждаемой стороны и сохранила свои первоначальные размеры. Электроды из того же материала, установленные в опытной электропечи Химического института, которые в течение 7 месяцев работали с воздушным охлаждением, при температуре наружной поверхности электродов 850–920°C в около 1,5 месяцев без охлаждения (температура наружной поверхности 1050–1130°C), также не подверглись разъеданию с наружной стороны и сохранили свои первоначальные размеры.

Следует отметить, что охлаждение электродов подолой, примененное М. А. Бабажанян, В. С. Миняево и В. А. Ильинским в полупромышленной печи, также привело к быстрому разъеданию электродов [3].

Опыт электроплавки стекла показывает, что наилучшим способом охлаждения электродов пристенного типа является воздушное охлаждение, при этом наиболее значительное имеет режим работы электродов

Химический институт
АН Армянской ССР

Поступило 15 III 1956

ЛИТЕРАТУРА

1. Сборник научных работ по стеклу, Москва, Промстройиздат, 1960.
2. Миняево В. С., Медик-Аматара А. Ф. и др. Известия АН Армянской ССР, VIII, стр. 65, 1955.
3. Бабажанян М. А., Миняево В. С., Ильинский В. А. Стекло и керамика, № 3, 1956.

М. Г. ХАЧИЯН

СТРУННЫЙ ДИНАМОМЕТР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА

При опытах, связанных с решением ряда технических задач, требуется измерение крутящего момента. Известны индукционный, фотоэлектрический, тензострический и другие методы измерения крутящего момента. Применение этих методов часто бывает затруднительно, особенно при больших скоростях вращения. В частности, такие обстоятельства, как изменение переходного сопротивления при щеточных контактах, или конструктивные затруднения, связанные с применением ртутных контактов, приводят к усложнению приборов. В предлагаемом ниже методе крутящий момент преобразуется в колебания электрического тока, с помощью трансформатора с вращающейся первичной обмоткой.

На рис. 1 приведена электрическая схема динамометра автора. На валу, при помощи хомутов, закрепляются два крошгейна, между которыми поперек вала натягивается тонкая стальная струна. При деформации вала, под влиянием крутящего момента крошгейны вместе с хомутами перемещаются, натягивая или ослабляя струну.

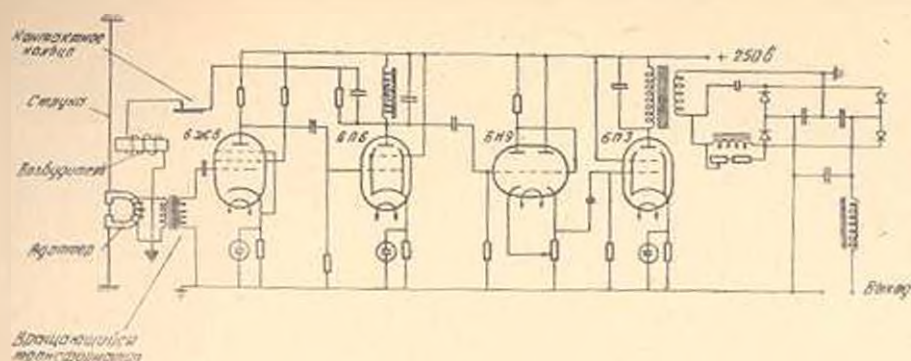


Рис. 1

В зависимости от этого меняется частота собственных колебаний струны. Вследствие этого индуцируется ток той же частоты в электромагнитном привлекании адаптера, через который проходит струна. Концы проводов от катушки адаптера подводятся к первичной обмотке трансформаторного токосъема. Первичная обмотка последнего закрепляется на валу и вращается вместе с ним. Вторичная обмотка наматывается аналогичным образом и неподвижном сердечнике. Обе обмотки имеют свои сердечники и отделены друг от друга кольцевым воздушным зазором. Такой способ токосъема устраняет необходимость в контактных токосъемах, с которыми связаны помехи.

Вторичная, неподвижная обмотка вращающегося трансформатора подключается к двухламповому низкочастотному усилителю (лампы 6Ж6 и 6Д6). От выхода второй лампы 6Д6 усиленное напряжение через контактное кольцо подается на катушку обратной связи для поддержания колебаний струны. Наличие переходного контактного сопротивления в цепи обратной связи не влияет на нормальную работу струны из-за высокого сопротивления катушки возбуждения. Часть напряжения подается на выпрямительно-спусковую схему (ограничитель амплитуды 6Н9). Сигнал от лампы 6Н9 подается на усилитель мощности 6П3, а с выходного трансформатора этой лампы — на схему преобразования частоты. Выход схемы осуществлен через устройство, дающее ток пропорциональный изменению частоты, а следовательно, и изменению момента.

Динамометр был испытан на валу гидроагрегата динамической модели энергосистемы Водно-энергетического института АН Армянской ССР [ВЭИИ] при скорости вращения до 1500 об./мин диаметре вала 40 мм и максимальном моменте 7 кгм. Схема прибора обеспечивает его стабильную работу и дает возможность регистрировать крутящий момент на осциллографе с обычными шлейфами. Характеристика прибора типичная: точность прибора не менее 3%. При желании чувствительность прибора можно изменить соответствующим подбором диаметра и длины струны. Описанный динамометр с 1957 г. удовлетворительно работает в лаборатории моделирования ВЭИИ. Динамометром такого типа произведено измерение крутящего момента на гидроагрегате ДжорагЭС при скорости вращения 500 об./мин и крутящем моменте 16000 кгм. Как показали испытания, предлагаемый динамометр можно успешно применить не только при лабораторных исследованиях, но и при опытах в натуре.

Водно-энергетический институт

АН Армянской ССР

Поступило 20 V 1958

С. А. ПИРУЗЯН

ФИКСАЦИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 14-го ФЕВРАЛЯ 1957 г. В ГОР. ЕРЕВАНЕ МНОГОМАЯТНИКОВЫМИ СЕЙСМОМЕТРАМИ АИС—2

В 1956 году, с целью получения инструментальных данных для сейсмического районирования и микрорайонирования, в г. Ереване, а также на сейсмических станциях „Ереван“, „Горис“, „Ленинакан“ и „Степанаван“ были установлены маятниковые сейсмометры АИС—2 [1].

В г. Ереване приборы были установлены в пяти пунктах, в том числе и на сейсмической станции. Для установки сейсмометров выбирались участки с характерными инженерно-геологическими условиями с целью количественного определения влияния этих условий на интенсивность сейсмических колебаний [2, 3]. В феврале 1957 года три сейсмометра, установленные на территории города Еревана, в различных грунтовых условиях зарегистрировали местное землетрясение, сила которого по макросейсмическим признакам была оценена в IV балла.

Грунтово-геоморфологические особенности участков расположения упомянутых приборов кратко характеризуются следующими данными:

Сейсмометр № 6 (запад „Канал“) расположен в северной нагорной части города, в пределах Арабкирского плато, сложенного базальтами и андезитово-базальтами верхнетретичного возраста. Прибор установлен на глыбчатых трещиноватых базальтах местами осыпавшихся.

Сейсмометр № 11 (сейсмостанция „Ереван“) расположен в северной части городской котловины, на месте расширения селевого конуса выноса реки Гедар, на ее правобережной террасе. Терраса сложена пролювием—валуно-галечными отложениями, представляющими скопления плохо-окатанного крупнообломочного материала с примесью глины, супеси, песка и гальки.

Сейсмометр № 9 (школа № 38) расположен в южной равнинной части города. Участок сложен в основном суглинисто-супесчаными и галечно-гравелистыми отложениями. Размеры и количество обломочного материала увеличиваются с глубиной.

Таким образом имеем три разновидности грунтов: скалистый грунт (сейсмометр № 6), рыхлый грунт конуса выноса (сейсмометр № 11) и современные осадочные отложения средней плотности (сейсмометр № 9). Согласно данным сейсмической станции „Ереван“ землетрясение произошло 14-го февраля 1957 г. в 21 час 50 мин 47 сек. по Гринвичу, эпицентр находился в 12—14 км к северо-востоку от города*. Сила данного землетрясения в IV балла близка к нижнему пределу чувствительности сейсмометров АИС—2 и поэтому в настоящей заметке дается лишь приближенная интерпретация полученных результатов. В табл. 1 приведены данные, полученные при обработке показаний сейсмометров. Величины максимальных приращений сейсмических ускорений $\ddot{x}$ колеблются в пределах от 0.26 см/сек^2 для длиннопериодных маятников сейсмометров ($T=1.2 \text{ сек.}$), до 83 см/сек^2 для короткопериодных маятников ($T=0.05 \text{ сек.}$).

Спектры $\ddot{x}(T)$ имеют, в общем, гиперболический характер**: величина приращений ускорений возрастает с уменьшением периодов свободных колебаний маятников. Для периодов свободных колебаний в диапазоне от 0,2 до 0,3 сек наблюдается увеличение горизонтальных компонент ускорения в рыхлом грунте (сейсмометры №№ 9, 11) в сравнении со скалой (сейсмометр № 6). Упомянутый диапазон периодов наиболее соответствует периодам свободных колебаний большинства современных зданий городского типа, высотой 2—3 этажа. Маятники с периодом $T=0.4 \text{ сек.}$

* Эти данные были любезно представлены нам заведующим сейсмической станцией Д. М. Минасяном.

** Подробное описание полученных спектров и мест установки сейсмометров приведены в отчетах сектора инженерной сейсмологии института за 1956—1957 гг.

показали (табл. 1) равные с на базальте и суглинисто-супесчаных и галечно-гравелистых отложениях и в два раза меньше с на пролювиальных отложениях реки Гедар (сейсмометр № 11). При рассмотрении самого жесткого маятника с периодом собственных колебаний $T=0,05$ сек. наблюдается иная картина. Самое большое при-

Таблица 1

	Сейсмометр № 6			Сейсмометр № 9			Сейсмометр № 11		
	№ касет	Период T сек	Ускорение $\pm$ см/сек ²	№ касет	Период T сек	Ускорение $\pm$ см/сек ²	№ касет	Период T сек	Ускорение $\pm$ см/сек ²
Горизонт таблица	6-1	0,040	40,0	9-1	0,017	21,8	11-1	0,05	82,8
	6-2	0,38	4,8	9-2	0,40	4,8	11-2	0,417	2,15
	6-3	1,16	0,3	9-3	0,17	0,26	11-3	1,18	
	6-4	0,20	1,9	9-4	0,20	13,1	11-4	0,191	10,0
	6-5	0,70	0,19	9-5	0,80	1,02	11-5	0,78	0,76
	6-6	0,092	9,8	9-6	0,095	4,1	11-6	0,10	26,2
Пяти- каль- ные	6-7	0,037	25,8	9-7	0,098	—	11-7	0,099	22,2
	6-8	0,21	19,5	9-8	0,20	3,06	11-8	0,20	10,5
	6-9	0,051	34,8	9-9	0,053	—	11-9	0,48	57,2

веденное ускорение зафиксировал сейсмометр № 11, вдвое меньше сейсмометр № 9 и примерно в четыре раза меньше сейсмометр № 6. Вертикальные компоненты с для периодов $T=0,05$ сек оказались меньшими, а для периодов $T=0,1$ сек и $T=0,2$ сек большими по сравнению с горизонтальными компонентами при тех же периодах свободных колебаний.

Изложенное показывает возможность применения многомаятниковых сейсмометров АИС-2 для регистрации землетрясений средней силы, что открывает реальную перспективу использования этих приборов для целей сейсмического районирования крупного масштаба.

Институт стройматериалов и сооружений
Министерства строительства Армянской ССР

Поступило 1 VII 1958

ЛИТЕРАТУРА

1. Назаров А. Г. Метод инженерного анализа сейсмического сна. Изд. АН Армянской ССР, Ереван, 1956.
2. Гезалишвили И. А. и Сафарян А. Н. Влияние микрогеологии на сейсмостойкость сооружений по данным ашхабадского землетрясения 5-6 октября 1918 года. Труды Института строительного дела АН Грузинской ССР, Тбилиси, 1949.
3. Пирузян С. А. К вопросу влияния микрогеологии на величину силы сотрясения по данным гегечорского землетрясения 1967 года. Известия АН Армянской ССР, серия технических наук, том X, № 6, Ереван, 1957.
4. Хачинян М. Г. ДАН АН Армянской ССР, том XXI, № 5, Ереван, 1955.
5. Печала В. А. Сейсмометр простого устройства. Известия Отделения естественных наук АН Таджикской ССР, № 20, Сталинабад, 1957.

ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ЖИДКОГО КАРБИДА КАЛЬЦИЯ

Современное состояние вопросов электропроводности жидкого карбида кальция освещено в [1—5].

Нами для экспериментов был использован метод Кохляуша. В нашу задачу вошло определение электропроводности шпаты карбида кальция, начиная с комнатной температуры до температуры появления химической реакции карбидообразования. Исследованиями электропроводности расплава карбида кальция, зависимость от температуры, проводились на Бременском карбидном заводе*. Ниже даются описание этой части работы.

Для измерения удельной электропроводности жидкого карбида кальция было изготовлено специальное приспособление следующей конструкции.

На конце миллиметровой штанги были закреплены два графитовых электрода длиной 350 мм, шириной 10 мм и толщиной 30 мм. Эти электроды были надежно закреплены на расстоянии 50 мм друг от друга и могли вращаться относительно штанги во всех направлениях, т.е. чтобы при любом положении штанги они имели только одно направление — направление действия силы тяжести.

Измерения температуры производились термпарой графит-вольфрам. В качестве графит-элемента термпары нами был использован один из электродов, служащий одновременно и для электрических измерений. Для этого электрод изготовлялся полам. В полый электрод помещался вольфрам, который одним концом был закреплен с графитовым электродом. Остальная же часть была изолирована от него термостойким и электрикующим материалом (широкий).

Все отходящие от электродов провода для теплоизоляции были обмотаны несколькими слоями асбестовой ленты. В качестве измерительного прибора температуры была использована милливольметр магнитоэлектрической системы. Этот прибор был заранее градуирован с термпарой графит-вольфрам в идентичных проводившимся опытам условиях. При измерениях удельного сопротивления расплава карбида кальция сопротивлением электродов не считывались, ибо графит имеет большую электропроводность (тем более, что это тепловой коэффициент электропроводности полупроводников).

Опыты производились с карбидом нечи в следующей последовательности. Во первых, заранее определялась конструктивная постоянная электроного устройства путем калибрования этого устройства в соответствующей посуде с электролитом, имеющим величину удельного сопротивления примерно того-же порядка, что и жидкий карбид ($\rho = 0,1 - 0,5 \text{ ом см}$).

После этого штангу с электродами перебрасывали в печь, где производился жидкий карбид и укрепляли там в яде коромысанных весов. Во время слива печи измерительные электроды опускались в жидкий карбид, находящийся в изложнице. Электроды погружались в жидкий карбид на 80 или 160 мм. Одновременно с определением электропроводности для каждого эксперимента тут же, в лабораторной лаборатории, определялся диаметр измеренного карбида.

После опытов в электролаборатории производилась и корректировалась конструкция постоянная измерительного прибора. Следует отметить, что при работе во время разгрузочных, связанных с чрезвычайно высокой температурой окружающей среды, это потребовало некоторых изменений в методике измерения сопротивления. Нормальная температура не давала возможности использования мостиковой схемы с гальванометром и в качестве нулевого прибора так как весь опыт нужно было проводить очень быстро из-за створения привозом в асбестовой изоляции, шлангом прокачки, а также из-за быстрого остывания жидкого карбида и т.д. Поэтому в

* Экспериментальные работы проводились на заводе совместно с начальником электролаборатории тов. М. Метрабышом.

большинстве случаев пришлось довольствоваться лишь показаниями вольтметра и амперметра.

Как показали наши опыты, удельное электрическое сопротивление жидкого карбида кальция в зависимости от температуры при литраже 250—300 кг/л изменяется примерно в 6—7 раз.

В таблице 1 приведены результаты опытов.

Таблица 1

Зависимости удельного сопротивления жидкого технического карбида кальция от температуры и литража

Температура	Литраж кг/л	Удельное сопротивление в ом см	Температура	Литраж кг/л	Удельное сопротивление в ом см
1700	270	0,360	1750	275	0,216
1700	270	0,472	1780	275	0,157
1700	270	0,470	1780	275	0,137
1700	270	0,470	1800	280	0,130
1750	250	0,256	1800	280	0,130
1750	250	0,240	1800	280	0,113
1750	250	0,220	1800	280	0,111
1750	250	0,228	1800	280	0,110
1750	250	0,223	1900	300	0,075
1750	275	0,290	1900	300	0,078

Из табл. 1 особенно наглядно выделяется значение удельного электрического сопротивления жидкого технического карбида кальция с литражом 300 кг/л при температуре 1900°С. Оно имеет значение порядка 0,075—0,078 ом см. Это значение близко подходит к значению, полученному Хансеном. Заслуживает также внимания удельное электрическое сопротивление жидкого карбида при температуре 1700°С с литражом 270 кг/л. Оно колеблется в интервале $\rho = 0,36 - 0,47$ ом см. Из таблицы следует также, что изменение литража карбида кальция при высоких температурах оказывает значительное меньшее влияние на его удельное сопротивление, чем изменение температуры. Ниже даны кривые удельного сопротивления жидкого карбида кальция от температуры (рис. 1) и удельное сопротивление жидкого карбида, отнесенное к литражу, от температуры (рис. 2).

Наибольшее приближение (10%) дает аппроксимация приведенных кривых степенной функцией вида $\rho = A \cdot T^B$, где A и B в интервале 1700—1900°С имеют значение:

$$A = 0,69 - 0,75$$

$$B = 0,4 - 0,45.$$

Для практических расчетов более удобна формула:

$$\rho = 10^{-3} \left(\frac{T - 1800}{100} \right)^{-1.5}$$

где A и B имеют те же значения.

T — температура жидкого карбида кальция

ρ — удельное электрическое сопротивление в ом см

Основные результаты нашей работы сводятся к следующему.

Измерено удельное электрическое сопротивление жидкого технического карбида кальция. Оно колеблется в зависимости от температуры (в пределах 1700—1900°С) и литража (в пределах 250—300 кг/л) примерно в 6—7 раз.

Удельное электрическое сопротивление жидкого технического карбида кальция при температуре 1900°С с литражом 300 кг/л имеет значение $\rho = 0,075$ ом см.

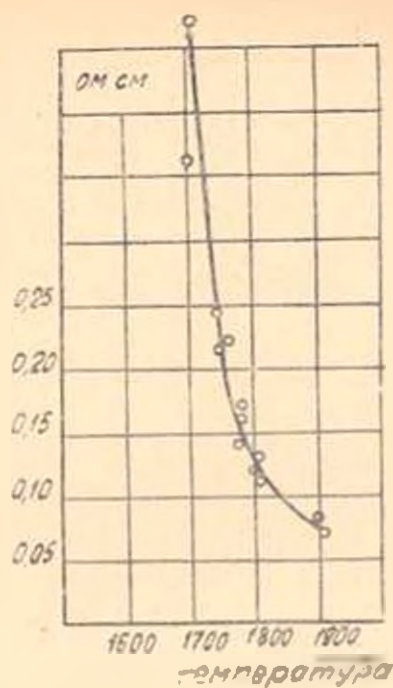


Рис. 1. Зависимость удельного электрического сопротивления жидкого карбида кальция от температуры.

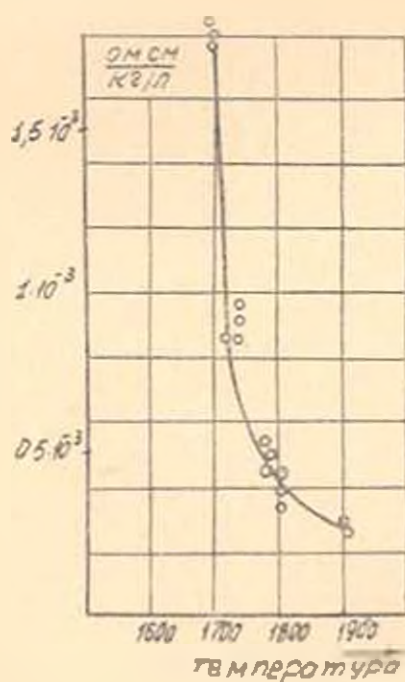


Рис. 2. Зависимость удельного электрического сопротивления жидкого карбида кальция, окисленного и антрацит

Удельное электрическое сопротивление и зависимость от температуры меняются по закону

$$\rho = \alpha e^{-\beta/T}, \quad (*)$$

где коэффициенты α и β в интервале 1700—1900°С меняются в пределах $\alpha = 0,69 - 0,79$; $\beta = 0,4 - 0,45$.

Лаборатория электротехники
АН Армянской ССР

Поступило 10 VI 1958

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Chanecop. Z. Anorg. Ch., 592. 1899.
2. Fridrich и Sitting. Z. Anorg. Ch. 141, 169 1925.
3. Schlumberger. Z. Angew. Ch. 33, 213 1926.
5. Гельд П. В. и Кологреева А. Г. ЖПХ, т. XXI, № 6, 600. 1948.
6. Гельд А. В., Есин О. А. и Марон Ф. С. ЖПХ, XXI, № 3. 251. 1948.

ԲՈՎԱՆԻԱԿՈՒՅՈՒՆ

Հիդրավիկա

Վ. Ն. Ժամագործյան. Ալիքի շարժումը կողային ջրթափի երկարությամբ 3

Կիրառական մեխանիկական

Ա. Մ. Մխիթարյան. Սևանա լճի նվազագույն խորությունն զննարարման հարցի մասին՝
դուրսդիպածան տեսակետից 12

Հիդրոէներգետիկա

Ա. Գ. Սարգսյան, Ա. Ա. Մխիթարյան. Դերիվացիոն հիդրոէկայանի սրվա կանոնավոր-
ման ջրավազանի տարողության և պիկային հզորության հաշվման հարցի
մասին 23

Ս. Պ. Շչերբակովա. Կապակցում աշխատող չկանոնավորվող դերիվացիոն հիդրոէկայ-
անի տրանսպանսերի հաշվային հզորության որոշումը 33

Շինարարական տեխնիկա

Կ. Ս. Վարդանյան. Քարի կտրման բնթացրում շփման և մաշվածության հետազո-
տությունների մեթոդիկայի հարցերի շուրջը 43

Շինանյութեր

Ճ. Դ. Հարությունյան. Ծակոտկեն բարանյութերում մեկուսացված ողի ճնշման ու
սումնասիրություններ և այդ ճնշման մեծությունը որոշելու նոր մեթոդը 51

Գրունտագիտություն

Քու. Լ. Ալեկսիյան. Դադանգեղված լավաքների ֆիզիոլոգիոն հատկություններ
լարոսստոր ուսումնասիրության մասնակց մակոտինների օդադրվման հղանակի
մասին 61

Կիսական հոբեր

Ի. Գ. Մանվելյան, Ա. Յ. Մելիք-Հախումադյան, Կ. Ա. Կոստանյան, Ս. Հ. Նույաջ-
յան և Ն. Հ. Սրգելյան. Ապակու էլեկտրադաշման վառարանում էլեկտրոդի
մաշվելու մի դեպքի մասին 69

Ի. Գ. Խաչիյան. Պատող մոմենտը չափող լարային դինամոմետր 76

Ս. Ա. Փիրուզյան. Երևան քաղաքում 1957 թ. փետրվարի 14-ի երկրաշարժի դրան-
ցումը АНС-2 բազմաճանաչակիսը սեյսմոմետրերով 78

Ի. Ա. Զուգուրյան. Հեղուկ կալիում կարբիդի էլեկտրահաղորդականությամբ 74

Гидравлика

<i>В. Н. Жамагорцян.</i> Движение почвы вдоль бокового подосылава	3
---	---

Прикладная метеорология

<i>А. М. Мхитарян.</i> К оценке минимальной глубины озера Севан с точки зрения испарения	17
--	----

Гидроэнергетика

<i>С. Г. Саркисян, С. А. Мхитарян.</i> К расчету пиковой мощности и емкости бассейна суточного регулирования деривационных ГЭС	23
<i>О. П. Шербакова.</i> Определение расчетной мощности незарегулированных деривационных гидроэлектростанций, работающих в каскаде	33

Строительная техника

<i>К. С. Варданян.</i> К методике исследования трения и изнашивания при резании камня	45
---	----

Строительные материалы

<i>Ф. Г. Арутюнян.</i> Исследование давления заземленного воздуха в пористых каменных материалах и новый метод его определения	51
--	----

Грунтоведение

<i>К. Л. Аветисян.</i> О методике дезаэрирования пор газонасыщенных песков при лабораторном изучении их фильтрационных свойств	61
--	----

Научные заметки

<i>М. Г. Манвелян, А. Ф. Мелик-Ахназарян, К. А. Костанян, С. О. Налчаджян, Е. А. Ермакян.</i> Об одном случае износа электрода в стеклоплавильной электрической печи	69
<i>М. Г. Хачиян.</i> Струнный динамометр для измерения крутящего момента	70
<i>С. А. Пирулян.</i> Фиксация землетрясения 14-го февраля 1957 г. в гор. Ереване многомаятниковыми сейсмометрами АИС-2	72
<i>Р. А. Чугурян.</i> Электропроводность жидкого карбида кальция	74

