

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՌԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ
ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ
АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ԽՐԱԿՐԱԿԱՆ ԿՈՒՆԻՅԱ

Աղունգ Շ. Տ. (պատ. խմբադրի տեղ.), Անանյան Ա. Կ., Կաս-
սարյան Ա. Մ., Եղիազարյան Ի. Վ., Կասյան Մ. Վ., Խաչատրյան
Վ. Մ., Նազարով Ա. Ի. (պատ. խմբադրի), Սիմոնով Մ. Ջ.,
Փիլնազյան Վ. Վ. (պատ. քարտուղար):

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

ГИДРАВЛИКА

А. К. АНАНЯН

ПРИБЛИЖЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ О ПОПЕРЕЧНОЙ
ЦИРКУЛЯЦИИ В ВОДОВОДЕ ТРЕУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ
ПРИ ИЗГИБЕ ПОТОКА

В настоящей статье мы ограничиваемся рассмотрением одной частной задачи о поперечной циркуляции на повороте водовода треугольного сечения. После решения этой задачи мы получим теоретическую основу, необходимую для решения ряда практических задач, как например: транспортирующая способность циркуляционного потока, потери напора на повороте водовода и т. д. Изложение решения этих задач выходит за пределы настоящей статьи, тем более, что общая теоретическая постановка вопроса о распределении мутности в циркуляционном потоке и о потерях напора на повороте водовода нами была изложена в работах [1—4].

§ 1. Прежде чем перейти к выводу исходных уравнений, пригодных для исследования турбулентного потока на повороте водовода (для любой формы и размеров) необходимо обосновать те оперативные методы, на которых будут построены наши дальнейшие исследования. Это необходимо еще потому, что в современном этапе развития теории турбулентности еще не установлена единая точка зрения об уравнениях турбулентного потока.

Известны следующие уравнения движения сплошной среды, выраженные через напряжения:

$$\left. \begin{aligned} \rho \frac{du_x}{dt} &= \rho X + \frac{\partial p_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \\ \rho \frac{du_y}{dt} &= \rho Y + \frac{\partial p_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} \\ \rho \frac{du_z}{dt} &= \rho Z + \frac{\partial p_{zz}}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Координатные оси ориентированы следующим образом: x — по направлению течения, z — вертикально вниз, y — перпендикулярно первым двум направлениям.

Присоединяя к этим уравнениям уравнение неразрывности

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0, \quad (2)$$

получаем четыре уравнения с девятью неизвестными $u_x, u_y, u_z, p_{xx}, p_{yy}, p_{zz}, \tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$. Чтобы замкнуть эту систему уравнений, очевидно необходимы дополнительные зависимости, характеризующие свойства турбулентного потока и действующие в нем напряжения. Эти дополнительные зависимости не могут быть найдены только теоретическим путем: их можно получить, в основном, из опыта. Следуя Рейнольдсу и отказавшись от точного воспроизведения картины турбулентного потока, примем, что входящие в уравнения (1) и (2) мгновенные скорости и напряжения складываются из осредненных и пульсационных величин.

Тогда систему уравнений (1) и (2), после осреднения по времени и элементарных преобразований для установившегося движения, можно представить в следующем виде:

$$\begin{aligned} \rho \left(\bar{u}_x \frac{\partial \bar{u}_x}{\partial x} + \bar{u}_y \frac{\partial \bar{u}_x}{\partial y} + \bar{u}_z \frac{\partial \bar{u}_x}{\partial z} \right) &= \rho X + \frac{\partial}{\partial z} (\bar{p}_{xx} - \overline{\rho u'_x u'_x}) + \\ &+ \frac{\partial}{\partial y} (\bar{\tau}_{xy} - \overline{\rho u'_x u'_y}) + \frac{\partial}{\partial z} (\bar{\tau}_{xz} - \overline{\rho u'_x u'_z}) \\ \rho \left(\bar{u}_x \frac{\partial \bar{u}_y}{\partial x} + \bar{u}_y \frac{\partial \bar{u}_y}{\partial y} + \bar{u}_z \frac{\partial \bar{u}_y}{\partial z} \right) &= \rho Y + \frac{\partial}{\partial x} (\bar{\tau}_{xy} - \overline{\rho u'_x u'_y}) + \\ &+ \frac{\partial}{\partial y} (\bar{p}_{yy} - \overline{\rho u'_y u'_y}) - \frac{\partial}{\partial z} (\bar{\tau}_{yz} - \overline{\rho u'_y u'_z}) \\ \rho \left(\bar{u}_x \frac{\partial \bar{u}_z}{\partial x} + \bar{u}_y \frac{\partial \bar{u}_z}{\partial y} + \bar{u}_z \frac{\partial \bar{u}_z}{\partial z} \right) &= \rho Z + \frac{\partial}{\partial x} (\bar{\tau}_{xz} - \overline{\rho u'_x u'_z}) + \\ &+ \frac{\partial}{\partial y} (\bar{\tau}_{yz} - \overline{\rho u'_y u'_z}) + \frac{\partial}{\partial z} (\bar{p}_{zz} - \overline{\rho u'_z u'_z}), \end{aligned} \quad (3)$$

где черта над буквами обозначает осредненные величины, а штрихом обозначены пульсационные величины.

Из системы уравнений (3) видно, что уравнения турбулентного потока, написанные для средних величин скоростей и давлений, имеют такой же вид, как уравнения Навье—Стокса, с той лишь разницей, что компоненты тензора напряжения увеличены на:

$$\begin{aligned} \tau_{xx} &= -\overline{\rho u'_x u'_x}, \quad \tau_{xy} = -\overline{\rho u'_x u'_y}, \quad \tau_{xz} = -\overline{\rho u'_x u'_z}, \\ \tau_{yy} &= -\overline{\rho u'_y u'_y}, \quad \tau_{yz} = -\overline{\rho u'_y u'_z} \text{ и т. д.} \end{aligned}$$

Эти напряжения появляются в результате осреднения членов, выражающих конвективное ускорение, т. е. в результате замены истинного конвективного ускорения осредненным ускорением.

Число неизвестных величин, которые входят в уравнения (3), десять. Три проекции осредненных скоростей, осредненное давление и,

наконец, шесть неизвестных турбулентных напряжений. В поисках дополнительных соотношений, связывающих пульсационные скорости с напряжениями, в теории турбулентности развилось два направления. Так называемая „полуэмпирическая“ теория и статистическая теория турбулентности.

Изучение турбулентности для многих задач практики представляется целесообразным только с точки зрения установления для выбранной точки средних характеристических величин, получаемых обычно путем осреднения во времени. Изучая непосредственно осредненные величины, т. е. только средний статистический уровень и лишь учитывая при объяснении явления влияние отбрасываемых пульсаций на осредненные величины, мы получаем, конечно, только приближенное описание явления, схватываем только основные его черты, представляющиеся, однако, на первых этапах исследования наиболее важными для нашей задачи.

Из полученных выше уравнений было видно, что дополнительные турбулентные напряжения появляются лишь при замене реального движения осредненным. Тогда, естественно, появляется мысль об установлении связей между искомыми напряжениями и осредненными элементами потока, который в общем случае можно представить в следующем виде:

$$\tau_{ij} = -\overline{\rho u_i u_j} = -\rho \Phi \left(u_i, u_j, \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j}, \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i}, \frac{\partial^2 \bar{u}_i}{\partial x_j^2}, \frac{\partial^2 \bar{u}_j}{\partial x_i^2}, \dots \right) \quad (4)$$

Установить вид функциональной зависимости (4) пока не удастся. Поэтому на практике прибегают к различным гипотезам. Наиболее распространенная гипотеза гласит: нельзя ли напряжение (4) выразить, притом линейно, через средние скорости деформации в осредненном движении, т. е. принять, что

$$\tau_{ij} = (\eta + \eta_m) \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) = A \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \quad (5)$$

В этом выражении $A(x, y, z)$, в отличие от того, что имеет место при ламинарном движении, является функцией координат. В данном случае гипотетической является не столько зависимость вида (5) сколько принятие того условия, что $A(x, y, z)$ должна являться скалярной функцией координат. Для зоны потока вдали от твердых стенок водовода, где наблюдаются сравнительно малые изменения скоростей, при решении многих практических задач гипотеза о скалярности функции $A(x, y, z)$ оправдывается [4—7].

Зависимость $A(x, y, z)$ обычно называется коэффициентом турбулентной или виртуальной вязкости.

После подстановки значений турбулентных напряжений τ_{ij} из (5) в (3) и перехода к цилиндрическим координатам получим:

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial H}{\partial R} + \frac{u_\varphi}{R} \frac{\partial u_R}{\partial \varphi} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} - u_z \frac{\partial u_z}{\partial R} - u_z \frac{\partial u_\varphi}{\partial R} - \frac{u_\varphi^2}{R} - \\
& - \frac{A}{\rho} \left(\frac{\partial^2 u_R}{\partial R^2} + \frac{\partial^2 u_R}{\partial z^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial u_R}{\partial R} - \frac{u_R}{R^2} + \frac{1}{R^2} \frac{\partial^2 u_R}{\partial \varphi^2} - \right. \\
& \left. - \frac{2}{R^2} \frac{\partial u_\varphi}{\partial \varphi} \right) + \frac{1}{\rho} \left(2 \frac{\partial A}{\partial R} \frac{\partial u_R}{\partial R} + \frac{\partial A}{\partial z} \frac{\partial u_z}{\partial R} + \frac{\partial A}{\partial z} \frac{\partial u_\varphi}{\partial z} \right) \\
& \frac{1}{R} \frac{\partial H}{\partial \varphi} + \frac{u_R}{R} \frac{\partial u_R}{\partial \varphi} + u_R \frac{\partial u_z}{\partial R} + u_z \frac{\partial u_\varphi}{\partial z} + \frac{u_R u_\varphi}{R} - \\
& - \frac{u_z}{R} \frac{\partial u_z}{\partial \varphi} - \frac{A}{\rho} \left(\frac{\partial^2 u_\varphi}{\partial R^2} + \frac{\partial^2 u_\varphi}{\partial z^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial u_\varphi}{\partial R} - \frac{u_\varphi}{R^2} + \frac{1}{R^2} \frac{\partial^2 u_\varphi}{\partial \varphi^2} - \right. \\
& \left. + \frac{2}{R^2} \frac{\partial u_R}{\partial \varphi} \right) + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial A}{\partial R} \frac{\partial u_\varphi}{\partial R} - \frac{u_\varphi}{R} \frac{\partial A}{\partial R} + \frac{\partial A}{\partial z} \frac{\partial u_\varphi}{\partial z} \right) \\
& \frac{\partial H}{\partial z} + \frac{u_\varphi}{R} \frac{\partial u_z}{\partial \varphi} + u_R \frac{\partial u_z}{\partial R} - u_z \frac{\partial u_\varphi}{\partial z} - u_R \frac{\partial u_R}{\partial z} - \\
& - \frac{A}{\rho} \left(\frac{\partial^2 u_z}{\partial R^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial u_z}{\partial R} + \frac{1}{R^2} \frac{\partial^2 u_z}{\partial \varphi^2} \right) + \\
& + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial A}{\partial R} \frac{\partial u_z}{\partial R} + 2 \frac{\partial A}{\partial z} \frac{\partial u_z}{\partial z} + \frac{\partial A}{\partial R} \frac{\partial u_R}{\partial z} \right),
\end{aligned} \tag{6}$$

где

$$H = U - \frac{P}{\rho} + \frac{(u_\varphi^2 + u_z^2 + u_R^2)}{2}.$$

К этим уравнениям необходимо присоединить еще следующее уравнение непрерывности:

$$\frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} (R u_R) + \frac{\partial u_\varphi}{R \partial \varphi} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0. \tag{7}$$

Число неизвестных, входящих в (6) и (7), пять. Три составляющих скорости, давление и коэффициент турбулентной вязкости. Таким образом, мы видим, что даже принятие условия о скалярности коэффициента турбулентной вязкости не позволяет нам получить замкнутую систему уравнений. Поэтому необходимо искать дополнительно другие зависимости для замыкания системы уравнений (6) и (7). Из числа неизвестных величин наиболее изученными являются продольные скорости. Многочисленные эксперименты дают нам возможность установить общий вид функции распределения продольных скоростей для довольно широкого класса задач практики. Поэтому, в дальнейшем, при определении (в первом приближении) поля скоростей из повороте водовода будем задаваться продольными скоростями до поворота, где имеется вполне установившееся турбулентное движение.

Избранный нами путь замыкания приведенных выше уравнений является не строгим и с точки зрения теории на первый взгляд может оказаться даже не приемлемым, но, будучи убежденными в том, что заданная функция распределения продольных скоростей с ее первыми и вторыми производными очень близка к истинной, то в этих условиях мы можем считать, что результаты решения уравнения (6) и (7) в отношении остальных неизвестных должны привести к правдоподобным результатам. Конечно, при этом не исключается необходимость проверки совпадения окончательных результатов, полученных теоретически с экспериментом.

§ 2. Решение системы уравнений (6) и (7) в общем виде пока не представляется возможным. Поэтому вводим ряд ограничений, что не может чувствительно снизить точность решаемой задачи.

1. Принимаем, что в соответствующих точках всех поперечных сечений изогнутого водовода скорости не меняются, т. е. принимаем движение осесимметричным.

2. Принимаем, что поле продольных скоростей до поворота водовода является известной функцией координат.

После введения этих упрощающих предположений решение системы уравнений (6) и (7) будем искать в виде рядов по степеням малого параметра $\varepsilon = \frac{b}{R}$, где b — линейный размер потока, например, ширина водовода. R — радиус закругления поворота.

$$\left. \begin{aligned} u_z &= u_{z0} + \varepsilon u_{z1} + \varepsilon^2 u_{z2} + \varepsilon^3 u_{z3} + \dots \\ u_R &= \varepsilon u_{R1} + \varepsilon^2 u_{R2} + \varepsilon^3 u_{R3} + \dots \\ u_z &= u_{z0} + \varepsilon^2 u_{z2} + \varepsilon^3 u_{z3} + \dots \\ A &= A_0 + \varepsilon A_1 + \varepsilon^2 A_2 + \varepsilon^3 A_3 + \dots \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

При помощи этих рядов решение системы уравнений можно получить при приближении. Займемся исследованием системы дифференциальных уравнений в первом приближении, т. е. примем, что продольные скорости на повороте водовода можно выразить в виде следующего ряда

$$u_z = u_{z0} + \varepsilon u_{z1} + \dots = u_{z0} + \frac{c(R, z)}{R} + \dots \quad (9)$$

где u_{z0} — функция распределения продольных скоростей до поворота водовода. $c(R, z)$ — некоторая неизвестная функция координат, R — радиус закругления поворота. Для пологих поворотов R можно заметить радиусом закругления оси поворота т. е. R_0 .

Условно примем, что продольные скорости до поворота водовода имеют порядок единицы. Тогда нетрудно показать, что поперечные скорости u_R и u_z имеют порядок ε . Действительно, раскладывая функ-

цию $u_R \left(\frac{b}{R}, u_{z_0}, R, \dots \right)$ и $u_z \left(\frac{b}{R}, u_{z_0}, R, \dots \right)$ и их производные в ряд Тейлора в точке $R \rightarrow \infty$ получим:

$$u_R \left(\frac{b}{R}, u_{z_0}, R, \dots \right) = u_R(0, u_{z_0}, R, \dots) + \frac{b}{R} u'_R(0, u_{z_0}, R, \dots) + \dots, \quad (10)$$

$$u'_R \left(\frac{b}{R}, u_{z_0}, R, \dots \right) = u'_R(0, u_{z_0}, R, \dots) + \frac{b}{R} u''_R(0, u_{z_0}, R, \dots) + \dots, \quad (11)$$

Так как на прямом участке водовода, где $R \rightarrow \infty$ поперечные скорости отсутствуют, следовательно будем иметь, что $u_R(0, u_{z_0}, R, \dots) = 0$ и $u'_R(0, u_{z_0}, R, \dots) = 0$.

Аналогичным образом мы можем поступить и для скоростей u_z . Из соотношений (10) и (11) мы получаем наш первый основной вывод:

Поперечные скорости и их первые производные имеют порядок $\varepsilon = \frac{b}{R}$.

Отсюда вытекает, что произведения вида $u_z \frac{\partial u_z}{\partial R}$, $u_z \frac{\partial u_R}{\partial R}$, $u_z \frac{\partial u_z}{\partial R}$ имеют

порядок ε^2 ; $u_z \frac{\partial u_z}{\partial R} = O\left(\frac{b}{R}\right)$; $u_z^2 = O\left(\frac{b}{R}\right)$ и т. д. Что касается слагае-

мых $\frac{\partial H}{\partial R}$, $\frac{\partial H}{\partial z}$ и $\frac{\partial H}{R \partial z}$, то они являются конечными величинами.

Вторые слагаемые в правых частях уравнения (6) хотя и содержат производные от u_z и u_R , но порядок произведения $\frac{\partial A}{\partial R} \cdot \frac{\partial u_R}{\partial R}$ и

т. д. получается не выше $\frac{b}{R}$, так как производные от коэффициента

турбулентной вязкости имеют порядок не ниже порядка продольных скоростей. И, наконец, из соотношения (9) видно, что $\frac{\partial u_z}{\partial R}$ и $\frac{\partial u_z}{\partial z}$ имеют

$O\left(\frac{b}{R}\right)$.

Принимая во внимание все эти соотношения из дифференциальных уравнений (6), мы можем отбросить все величины, которые имели порядок выше $\frac{b}{R}$. Тогда получим:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial H}{\partial R} - u_v \frac{\partial u_z}{\partial R} - \frac{u_z^2}{R} - \frac{A}{\rho} \left(\frac{\partial^2 u_R}{\partial R^2} + \frac{\partial^2 u_R}{\partial z^2} \right) + \\ + \frac{1}{\rho} \left(2 \frac{\partial A}{\partial R} \frac{\partial u_R}{\partial R} + \frac{\partial A}{\partial z} \frac{\partial u_z}{\partial R} + \frac{\partial A}{\partial z} \frac{\partial u_R}{\partial z} \right) \\ \frac{1}{R} \frac{\partial H}{\partial z} = \frac{A}{\rho} \left(\frac{\partial^2 u_z}{\partial R^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial u_z}{\partial R} \right) + \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

$$\left. \begin{aligned} & + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial A}{\partial R} \frac{\partial u_r}{\partial R} - \frac{u_r}{R} \frac{\partial A}{\partial R} - \frac{\partial \Lambda}{\partial z} \cdot \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) \\ & \frac{\partial H}{\partial z} - u_r \frac{\partial u_z}{\partial z} = \frac{A}{\rho} \left(\frac{\partial^2 u_z}{\partial R^2} + \frac{\partial^2 u_r}{\partial z^2} \right) + \\ & + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \Lambda}{\partial R} \cdot \frac{\partial u_z}{\partial R} + 2 \frac{\partial A}{\partial z} \cdot \frac{\partial u_z}{\partial z} + \frac{\partial \Lambda}{\partial R} \frac{\partial u_R}{\partial z} \right) \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Из уравнения неразрывности (7) имеем:

$$u_R = - \frac{1}{R} \frac{\partial F(R, z)}{\partial z}, \quad u_z = \frac{1}{R} \frac{\partial F(R, z)}{\partial R}, \quad (13)$$

где $F(R, z)$ в дальнейшем будем называть функцией поперечной циркуляции. Из системы уравнений (12) видно, что поле скоростей поперечной циркуляции на повороте водовода с точностью $O\left(\frac{b}{R}\right)$

определяется из первого и третьего уравнений и независимо от второго уравнения. С учетом (13) первое и третье уравнение системы можем представить в следующем виде

$$\left. \begin{aligned} & \frac{\partial H}{\partial R} - u_r \frac{\partial u_z}{\partial R} - \frac{u_z^2}{R} = \frac{-A}{\rho} \left(\frac{2}{R^2} \frac{\partial F}{\partial z} - \frac{2}{R^2} \frac{\partial^2 F}{\partial R \partial z} + \frac{1}{R} \frac{\partial^3 F}{\partial R^2 \partial z} - \right. \\ & \left. - \frac{1}{R} \frac{\partial^3 F}{\partial z^2 \partial R} \right) + \frac{1}{\rho} \left(2 \frac{\partial A}{\partial R} \cdot \frac{\partial u_z}{\partial R} + \frac{\partial A}{\partial z} \cdot \frac{\partial u_z}{\partial R} + \frac{\partial A}{\partial z} \frac{\partial u_R}{\partial z} \right) \\ & \frac{\partial H}{\partial z} - u_r \frac{\partial u_z}{\partial z} = \frac{A}{\rho} \left(\frac{2}{R^2} \frac{\partial F}{\partial R} - \frac{2}{R^2} \frac{\partial^2 F}{\partial R^2} - \frac{1}{R} \frac{\partial^3 F}{\partial R^3} + \right. \\ & \left. + \frac{1}{R} \frac{\partial^3 F}{\partial z^2 \partial R} \right) + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial A}{\partial R} \cdot \frac{\partial u_z}{\partial R} + 2 \frac{\partial A}{\partial z} \cdot \frac{\partial u_z}{\partial z} + \frac{\partial A}{\partial R} \frac{\partial u_R}{\partial z} \right) \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Продифференцируем первое уравнение системы (14) по z , а второе уравнение по R . После почленного вычитания и ряда преобразований получаем следующие дифференциальные уравнения [2], [8].

$$\begin{aligned} & \frac{\partial^2}{\partial R^2} \left(A \frac{\partial^2 F}{\partial R^2} \right) - \frac{\partial^2}{\partial R^2} \left(A \frac{\partial^2 F}{\partial z^2} \right) - \frac{\partial^2}{\partial z^2} \left(A \frac{\partial^2 F}{\partial R^2} \right) + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \left(A \frac{\partial^2 F}{\partial z^2} \right) + \\ & + 4 \frac{\partial^2}{\partial R \partial z} \left(A \frac{\partial^2 F}{\partial R \partial z} \right) = 2\rho u_{r0} \frac{\partial u_{r0}}{\partial z} \end{aligned} \quad (15)$$

Из второго уравнения системы (6) с учетом (9), (13) и внесенных выше упрощающих предположений нетрудно получить общее дифференциальное уравнение для A . Подставляя (8) во второе уравнение системы (6) после ряда преобразований и отбрасывания величин второго порядка малости получим:

$$\frac{\partial}{\partial R} \left(A \frac{\partial u_z}{\partial R} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) = \rho \frac{\partial H}{R \partial z} - g \rho \quad (16)$$

Анализ этого дифференциального уравнения дан в [9]. Из уравнения (16) видно, что коэффициент турбулентного перемешивания в первом приближении определяется по заданному полю продольных скоростей до поворота водовода.

Таким образом, при заданном поле продольных скоростей до поворота водовода при помощи уравнений (15) и (13) можем определить, с точностью $O\left(\frac{\delta}{R}\right)$, поле скоростей поперечной циркуляции на повороте водовода. В этом и заключается сущность решения поставленной выше задачи в первом ее приближении. Для нахождения решения той же задачи в последующих приближениях необходимо сохранять в уравнениях (6) величин $O\left(\frac{\delta^2}{R^2}\right)$ и выше. Следует отме-

тить, что для поворотов с большим радиусом закругления уже первое приближение в основном решает задачу и нет нужды в данном случае прибегать к использованию последующих приближений [8—10].

§ 3. Для решения дифференциального уравнения (15) необходимо устанавливать граничные условия. На основании данных многочисленных опытов и теоретических исследований [5, 11] установлено, что при турбулентном движении у пристенного слоя потока образуется тонкая пленка, где турбулентные напряжения настолько малы, что ими можно пренебречь по сравнению с вязкостными напряжениями. Принимаем, что толщина переходной области мала и, что напряжения по ту и другую стороны этой области равны. С точностью $O(\delta)$ указанное выше граничное условие можно представить в следующем виде [2, 8]

$$\left[\frac{A\delta}{\mu} \frac{\partial^2 F}{\partial n^2} + \frac{\partial F}{\partial n} \left(1 - \frac{A\delta}{\mu r_0} \right) \right] \Big|_{\Gamma} = 0, \quad (17)$$

где A — коэффициент турбулентного перемешивания на границе ламинарной пленки, δ — толщина ламинарной пленки, μ — коэффициент вязкости, r_0 радиус кривизны контура водовода. Для водовода с прямолинейными очертаниями контура очевидно r_0 будет равна бесконечности, поэтому выражение (17) примет следующий вид:

$$\left(\frac{A\delta}{\mu} \frac{\partial^2 F}{\partial n^2} + \frac{\partial F}{\partial n} \right) \Big|_{\Gamma} = 0 \quad (18)$$

Для шероховатых водоводов принимаем, что у пристенного слоя ламинарная пленка, а если образуется, то она не сможет играть существенной роли в процессах передачи динамических усилий от потока к стенкам водовода.

Таким образом граничное условие (17) для шероховатых водоводов можно представить в следующем виде:

$$\left. \frac{\partial F}{\partial n} \right|_{\Gamma} = 0 \quad (19)$$

Второе граничное условие для гладких водоводов выводится из условия равенства скоростей на твердой стенке водовода (т. е. $\left. \frac{\partial F}{\partial y} \right|_{\Gamma} = 0$ и $\left. \frac{\partial F}{\partial z} \right|_{\Gamma} = 0$, что можно заменить записью вида $F|_{\Gamma} = 0$, $\left. \frac{\partial F}{\partial n} \right|_{\Gamma} = 0$ где n — направление нормали к поверхности). Не трудно доказать, что если на границе ламинарной пленки пренебрегать величинами $O(\delta)$, то функцию поперечной циркуляции можно принимать равным нулю [2];

$$F(S)|_{\Gamma} = 0 \quad (20)$$

Таким образом для гладких поверхностей будем иметь граничные условия интегрирования для уравнения (15) в виде зависимостей (17) и (20), а для шероховатых (19) и (20).

§ 4. Решение уравнения (15) при заданных граничных условиях (17), (20) или (19), (20) осуществляется вариационными методами. Этим путем было получено решение поставленной выше задачи для водоводов прямоугольного и круглого сечений [3] и [8]. В результате произведенных исследований было доказано, что решение задачи о поперечной циркуляции можно упростить путем замены в уравнении движения переменного коэффициента турбулентной вязкости его осредненной величиной [3—4], [6], [10]. При этом ошибка составляет лишь несколько процентов, что не имеет практического значения. Полученный вывод подтверждается так же данными экспериментов [3], [7], [12]. Учитывая это положение, мы переходим к решению задачи о поперечной циркуляции для водовода треугольного (равнобедренного) сечения предварительно заменяя в уравнении (15) переменный коэффициент турбулентной вязкости средней его величиной по сечению водовода.

В соответствии с принятой на рис. 1 системой координат граничные условия на боковых стенках водовода можно согласно (18), (20) представить в следующем виде:

$$\left(\frac{\partial F}{\partial y} + k \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} \right) \Big|_{z=0} = 0 \quad F \Big|_{z=0} = 0 \quad (21)$$

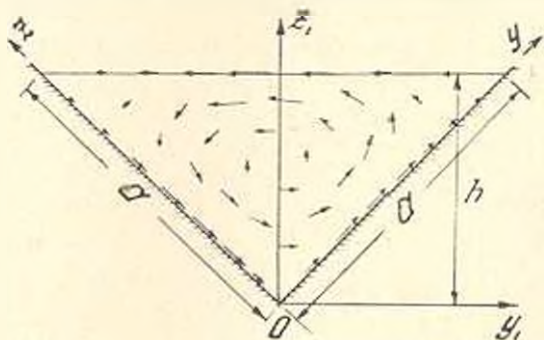


Рис. 1.

$$\left(\frac{\partial F}{\partial z} + k \frac{\partial^2 F}{\partial z^2} \right) \Big|_{y=0} = 0 \quad F \Big|_{y=0} = 0 \quad \text{где} \quad k = \frac{A_0}{\mu} \quad (22)$$

На свободной поверхности потока должны удовлетворяться условия: равенство нулю нормальной к поверхности скорости и касательных напряжений (т. е. эпюры скоростей должны подойти к поверхности потока по направлению нормали). Для принятой системы координат нетрудно доказать, что эти условия запишутся так:

$$F \Big|_{y+z=a} = 0 \quad (23)$$

$$\left(\frac{\partial^2 F}{\partial y^2} + 2 \frac{\partial^2 F}{\partial y \partial z} + \frac{\partial^2 F}{\partial z^2} \right) \Big|_{y+z=a} = 0 \quad (24)$$

Решение задачи будем осуществлять по методу Галеркина [13].

$$F(y, z) = f(y, z) + \phi(y, z) \quad (25)$$

где $\phi(y, z)$ представляет из себя ряд с неопределенными коэффициентами, которые определяются из граничных условий.

Функция $\phi(u, z)$ есть бигармоническая функция двух переменных.

Функция $f(u, z)$ выбирается так, чтобы она удовлетворяла дифференциальному уравнению движения и частично граничным условиям.

Функцию $\phi(y, z)$ представим в виде следующего ряда

$$\begin{aligned} \phi(y, z) = & \sum_{n=1}^{\infty} A_n \left[\operatorname{sh} \frac{n\pi(a-z)}{a} \sin \frac{n\pi y}{a} - (-1)^{n+1} \operatorname{sh} \frac{n\pi y}{a} \sin \frac{n\pi z}{a} \right] + \\ & + \sum_{n=1}^{\infty} B_n \left[\operatorname{sh} \frac{n\pi(a-y)}{a} \sin \frac{n\pi z}{a} - (-1)^{n+1} \operatorname{sh} \frac{n\pi z}{a} \sin \frac{n\pi y}{a} \right] + \\ & + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \left[(a-z) \operatorname{ch} \frac{n\pi(a-z)}{a} \sin \frac{n\pi y}{a} - (-1)^{n+1} \operatorname{ch} \frac{n\pi y}{a} \sin \frac{n\pi z}{a} \right] + \\ & + \sum_{n=1}^{\infty} D_n \left[(a-y) \operatorname{ch} \frac{n\pi(a-y)}{a} \sin \frac{n\pi z}{a} - (-1)^{n+1} \operatorname{ch} \frac{n\pi z}{a} \sin \frac{n\pi y}{a} \right]. \quad (26) \end{aligned}$$

Нетрудно заметить, что $\phi(y, z)$ представленная уравнением (26), удовлетворяет граничным условиям на свободной поверхности потока при любых значениях постоянных A_n, B_n, C_n и D_n . Эта функция удовлетворяет также бигармоническому уравнению.

Функция $f(y, z)$ может быть представлена в виде следующего полинома.

$$f(y, z) = \pi [(y + z - a)^4 + 2a(y + z - a)^3 - a^3(y + z - a)] \quad (27)$$

Нетрудно заметить так же, что $f(y, z)$ представленная выражением (27), также удовлетворяет условиям на свободной поверхности потока.

Для решения задачи о поперечной циркуляции необходимо задаваться распределением продольных скоростей до поворота водовода.

В гидравлике треугольные водоводы исследовались очень мало, поэтому, за неимением более достоверных данных, эмпире распределения продольных скоростей выразим формулой вида

$$u = u_0 \left(\frac{z}{a} \right)^{1/2} \left/ \frac{y}{a} \left(1 - \frac{y}{a} \right) \right., \quad (27)$$

которая соответствует опытным данным Никурадзе.

Необходимо отметить, что в работах [4], [10] доказана теорема об "устойчивости" (малое изменение) поперечных скоростей при различных степенных законах распределения продольных скоростей. Поэтому это дает нам уверенность предполагать, что если формула вида (28) не точно отражает истинную картину распределения продольных скоростей, то конечные результаты для u_y и u_z от этого чувствительно не должны разойтись с действительностью.

Подставим функцию $F(y, z)$ определяемую из выражения (25) в уравнение (15) при $A = A_{cp} = \text{const}$. Тогда с учетом (26) и (27) получим

$$96m = - \frac{u_0^2}{A_{cp}} \frac{\rho}{a} \cdot \frac{y}{a} \cdot \left(\frac{y}{a} - 1 \right) \quad (28)$$

Разложим левые и правые части уравнения (28) в ряд Фурье в пределах от 0 до a по $\sin \frac{n\pi y}{a}$. После элементарных преобразований будем иметь

$$\begin{aligned} \frac{384m}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin \frac{n\pi y}{a} = & - \frac{2u_0^2}{a^3 h} \sum_{n=1}^{\infty} \left| \frac{a^3}{n^3 \pi^3} \right| [-(n^2 \pi^2 - 2) \cos n\pi - 2] + \\ & + \frac{a^3 \cos n\pi}{n\pi} \left| \sin \frac{n\pi y}{a} \right|, \end{aligned}$$

откуда

$$\begin{aligned} m = & - \frac{\sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{2u_0^2}{a^3 h} \left| \frac{a^3}{n^3 \pi^3} \right| [-(n^2 \pi^2 - 2) \cos n\pi - 2] + \frac{a^3 \cos n\pi}{n\pi} \right]}{\frac{384}{\pi}} = \\ & = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{u_0^2}{48 h A_{cp} \pi^2 (2n - 1)^2} \quad (29) \end{aligned}$$

Таким образом дифференциальное уравнение движения (15) (с осредненным значением A) с учетом (26—29) удовлетворяется.

Остается удовлетворить граничным условиям на контуре треугольника. Число граничных условий шесть (21—24). Функции $\phi(y, z)$ и $f(y, z)$ подобраны так, что они удовлетворяют условиям на гипотенузе треугольника, при любых значениях постоянных. Остается удовлетворить четырем граничным условиям на катетах треугольника.

Постоянные A_n , B_n , C_n и D_n определяем из граничных условий (21—22). Граничные условия (21) с учетом (25—27) можно представить в следующем виде:

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial f}{\partial y} + k \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \right) \Big|_{y=0} &= \sum_{n=1, \dots}^{\infty} A_n \left[\frac{n\pi}{a} \operatorname{sh} \frac{n\pi(a-z)}{a} - (-1)^{n+1} \frac{n\pi}{a} \sin \frac{n\pi z}{a} \right] + \\ &+ \sum_{n=1, \dots}^{\infty} B_n \left[\frac{n\pi}{a} \operatorname{ch} n\pi \sin \frac{n\pi z}{a} - (-1)^{n+1} \frac{n\pi}{a} \operatorname{sh} \frac{n\pi z}{a} \right] + \\ &+ \sum_{n=1, \dots}^{\infty} C_n \left[\frac{n\pi}{a} (a-z) \operatorname{ch} \frac{n\pi(a-z)}{a} - (-1)^{n+1} \sin \frac{n\pi z}{a} \right] - \\ &- \sum_{n=1}^{\infty} D_n \left[-\operatorname{ch} n\pi \sin \frac{n\pi z}{a} - n\pi \operatorname{sh} n\pi \sin \frac{n\pi z}{a} - (-1)^{n+1} \frac{n\pi}{a} z \operatorname{ch} \frac{n\pi z}{a} \right] + \\ &+ K \left\{ \left[\sum_{n=1, \dots}^{\infty} B_n \frac{n^2 \pi^2}{a^2} \operatorname{sh} n\pi \sin \frac{n\pi z}{a} \right] - \right. \\ &+ \sum_{n=1, \dots}^{\infty} D_n \left[\frac{n\pi}{a} \operatorname{sh} n\pi \sin \frac{n\pi z}{a} + \frac{n\pi}{a} \operatorname{sh} n\pi \sin \frac{n\pi z}{a} + \frac{n^2 \pi^2}{a} \operatorname{ch} n\pi \sin \frac{n\pi z}{a} \right] + \\ &\left. + 12 m [(z-a)^2 + a(z-a)] \right\} + m [4(z-a)^3 + 6a(z-a)^2 - a^3]. \quad (30) \end{aligned}$$

Разложим в ряд Фурье все те члены в (30), которые не содержат $\sin \frac{n\pi z}{a}$. Пользуясь обычными формулами разложения функции $f(z)$ в ряд Фурье, т. е.

$$f(z) = \sum x_n \sin \frac{n\pi z}{a}, \quad \text{где} \quad x_n = \frac{2}{a} \int_0^a f(z) \sin \frac{n\pi z}{a} dz \quad (31)$$

окончательно получим:

$$\begin{aligned}
 \frac{n\pi}{a} \operatorname{sh} \frac{n\pi(a-z)}{a} &= \frac{1}{a} \sum_{n=1}^{\infty} \operatorname{sh} n\pi \sin \frac{n\pi z}{a}; \quad \frac{n\pi}{a} \operatorname{sh} \frac{n\pi z}{a} = \\
 &= -\frac{1}{a} \sum_{n=1}^{\infty} \operatorname{sh} n\pi \cos n\pi \sin \frac{n\pi z}{a}; \quad \frac{n\pi}{a} (a-z) \operatorname{ch} \frac{n\pi(a-z)}{a} = \\
 &= \sum_{n=1}^{\infty} \left(\operatorname{ch} n\pi - \frac{\operatorname{sh} n\pi}{n\pi} \right) \sin \frac{n\pi z}{a}; \quad \frac{n\pi}{a} z \operatorname{ch} \frac{n\pi z}{a} = \\
 &= \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{\operatorname{sh} n\pi}{n\pi} - \operatorname{ch} n\pi \right) \cos n\pi \sin \frac{n\pi z}{a} \dots \quad (32)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m [4(z-a)^3 + 6a(z-a)^2 - a^3] &= m \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{24a^3}{n^3\pi^3} + \frac{2a^3}{n\pi} \right) \times \\
 &\times [1 + (-1)^n] \sin \frac{n\pi z}{a} \\
 12m [(z-a)^2 + a(z-a)] &= \frac{48a^3m}{n^3\pi^3} \sum_{n=1}^{\infty} [(-1)^n - 1] \sin \frac{n\pi z}{a} \quad (33)
 \end{aligned}$$

С учетом (32—33) граничные условия (30), после ряда элементарных преобразований и сокращений на $\sin \frac{n\pi z}{a}$, можно представить в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 \sum_{n=1}^{\infty} A_n \left[\frac{1}{a} \operatorname{sh} n\pi - (-1)^{n+1} \frac{n\pi}{a} \right] &+ \sum_{n=1}^{\infty} B_n \left[-\frac{n\pi}{n} \operatorname{ch} n\pi + \right. \\
 &+ \left. (-1)^{n+1} \frac{1}{a} \operatorname{sh} n\pi \cos n\pi \right] + C_n \left[\operatorname{ch} n\pi - \frac{\operatorname{sh} n\pi}{n\pi} - (-1)^{n+1} \right] + \\
 &+ \sum_{n=1}^{\infty} D_n \left[-\operatorname{ch} n\pi - n\pi \operatorname{sh} n\pi - (-1)^{n+1} \left(\frac{\operatorname{sh} n\pi}{n\pi} - \operatorname{ch} n\pi \right) \cos n\pi \right] + \\
 &+ K \left\{ \sum_{n=1}^{\infty} B_n \left(\frac{n^2\pi^2}{a^2} \operatorname{sh} n\pi \right) + \sum_{n=1}^{\infty} D_n \left(2 \frac{n\pi}{a} \operatorname{sh} n\pi + \frac{n^2\pi^2}{a} \operatorname{ch} n\pi \right) + \right. \\
 &+ \left. \sum_{n=1}^{\infty} \frac{48a^2}{n^3\pi^3} m [(-1)^n - 1] \right\} + \sum_{n=1}^{\infty} ma^3 \left(\frac{24}{n^3\pi^3} + \frac{2}{n\pi} \right) [(-1)^n + 1] = 0 \quad (34)
 \end{aligned}$$

Аналогичным образом получаем граничные условия на катете.

$$\begin{aligned}
 \left(\frac{\partial F}{\partial z} + K \frac{\partial^2 F}{\partial z^2} \right) \Big|_{z=0} &= \sum_{n=1}^{\infty} A_n \left[-\frac{n\pi}{a} \operatorname{ch} n\pi + (-1)^{n+1} \frac{\operatorname{sh} n\pi \cos n\pi}{a} \right] + \\
 &+ \sum_{n=1}^{\infty} B_n \left[\frac{\operatorname{sh} n\pi}{a} - (-1)^{n+1} \frac{n\pi}{a} \right] + \\
 &+ \sum_{n=1}^{\infty} C_n \left[-n\pi \operatorname{sh} n\pi - \operatorname{ch} n\pi - (-1)^{n+1} \left(\frac{\operatorname{sh} n\pi}{n\pi} - \operatorname{ch} n\pi \right) \cos n\pi \right] + \\
 &+ \sum_{n=1}^{\infty} D_n \left[\operatorname{ch} n\pi - \frac{\operatorname{sh} n\pi}{n\pi} - (-1)^{n+1} \right] + \\
 &+ K \left\{ \sum_{n=1}^{\infty} A_n \left(\frac{n^2 \pi^2}{a^2} \operatorname{sh} n\pi \right) + \right. \\
 &+ \sum_{n=1}^{\infty} C_n \left(2 \frac{n\pi}{a} \operatorname{sh} n\pi + \frac{n^2 \pi^2}{a} \operatorname{ch} n\pi \right) + \\
 &+ \sum_{n=1}^{\infty} \frac{48 a^2 m}{n^3 \pi^3} [(-1)^n - 1] \Big\} + \\
 &+ \sum_{n=1}^{\infty} m a^3 \left(\frac{24}{n^3 \pi^3} + \frac{2}{n\pi} \right) [(-1)^n - 1] = 0 \quad (35)
 \end{aligned}$$

Граничные условия $F|_{z=0} = 0$ и $F'|_{z=0} = 0$ после ряда элементарных преобразований, можно представить в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 &\sum_{n=1}^{\infty} B_n \operatorname{sh} n\pi \sin \frac{n\pi z}{a} + \\
 &+ \sum_{n=1}^{\infty} D_n a \operatorname{ch} n\pi \sin \frac{n\pi z}{a} + m [(z-a)^4 + 2a(z-a)^3 - a^2(z-a)] = 0 \quad (36)
 \end{aligned}$$

Последний член в выражении (36) разложим в ряд Фурье по $\sin \frac{n\pi z}{a}$. Тогда получим:

$$m [(z-a)^4 + 2a(z-a)^3 - a^2(z-a)] = \frac{96 a^4 m}{\pi^5} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^5} \sin \frac{n\pi z}{a} \quad (37)$$

С учетом этого выражения (36) окончательно примет следующий вид

$$\sum_{n=1}^{\infty} B_n \operatorname{sh} n\pi + \sum_{n=1}^{\infty} a D_n \operatorname{ch} n\pi + \frac{96 a^4 m}{\pi^3 n^3} = 0 \quad (38)$$

Аналогичным образом получаем следующее выражение для граничных условий $I|_{z=0} = 0$:

$$\sum_{n=1}^{\infty} A_n \operatorname{sh} n\pi + \sum_{n=1}^{\infty} a C_n \operatorname{ch} n\pi + \frac{96 a^4 m}{\pi^3 n^3} = 0 \quad (39)$$

Из (38) и (39) видно, что $A_n = B_n$, $C_n = D_n$.

Суммируя уравнения (30) и (35) и учитывая, что $A_n = B_n$ и $D_n = C_n$ получаем два уравнения с двумя неизвестными A_n и B_n .

После совместного решения этих уравнений и ряда элементарных преобразований получаем

$$\begin{aligned} C_n = & \frac{96 a^4 m}{n^3 \pi^3 \operatorname{sh} n\pi} \left[\frac{\operatorname{sh} n\pi}{a} (1 + (-1)^{n+1} \cos n\pi) - \right. \\ & \left. - n \operatorname{sh} n\pi + (-1)^{n+1} (\operatorname{ch} n\pi \cos n\pi - 1) - \right. \\ & \left. - \frac{n\pi}{a} ((-1)^{n+1} + \operatorname{ch} n\pi) + \frac{K}{a^2} n^2 \pi^2 \operatorname{sh} n\pi \right] - \\ & - \frac{\operatorname{sh} n\pi}{n\pi} [1 + (-1)^{n+1} \cos n\pi] + K \left(\frac{2n\pi}{a} \operatorname{sh} n\pi + \frac{n^2 \pi^2}{a} \operatorname{ch} n\pi \right) - \\ & - \frac{48 a^2 m K}{n^3 \pi^3} ((-1)^n - 1) - \\ & - \frac{a \operatorname{ch} n\pi}{\operatorname{sh} n\pi} \left[\frac{1}{a} \operatorname{sh} n\pi (1 + (-1)^{n+1} \cos n\pi) - \right. \\ & \left. - m a^3 \left(\frac{24}{n^3 \pi^3} + \frac{2}{n \pi} \right) [(-1)^n + 1] \right. \\ & \left. - \frac{n\pi}{a} ((-1)^{n+1} + \operatorname{ch} n\pi) + \frac{K}{a^2} n^2 \pi^2 \operatorname{sh} n\pi \right] \quad (40) \end{aligned}$$

$$A_n = C_n - \frac{96 a^4 m}{n^4 \pi^3 \operatorname{sh} n\pi} \dots \quad (41)$$

Ряды (40) и (41) быстро сходятся, поэтому для практических расчетов вполне достаточно ограничиваться первым членом разложения. С учетом этого обстоятельства выражение скоростей поперечной циркуляции окончательно можно представить в следующем виде:



$$\begin{aligned}
u_y = & \frac{1}{R_0} \left\{ A_1 \left[-\frac{\pi}{a} \operatorname{ch} \frac{\pi(a-z)}{a} \sin \frac{\pi y}{a} - \frac{\pi}{a} \operatorname{sh} \frac{\pi y}{a} \cos \frac{\pi z}{a} + \right. \right. \\
& \left. \left. + \frac{\pi}{a} \operatorname{sh} \frac{\pi(a-z)}{a} \cos \frac{\pi z}{a} - \frac{\pi}{a} \operatorname{ch} \frac{\pi z}{a} \sin \frac{\pi y}{a} \right] + \right. \\
& + C_1 \left[-(a-z) \frac{\pi}{a} \operatorname{sh} \frac{\pi(a-z)}{a} \sin \frac{\pi y}{a} - \operatorname{ch} \frac{\pi(a-z)}{a} \sin \frac{\pi y}{a} - \right. \\
& - \frac{\pi}{a} y \operatorname{ch} \frac{\pi y}{a} \cos \frac{\pi z}{a} + \frac{\pi}{a} (a-y) \operatorname{ch} \frac{\pi(a-y)}{a} \cos \frac{\pi z}{a} - \\
& \left. - \operatorname{ch} \frac{\pi z}{a} \sin \frac{\pi y}{a} - \frac{\pi}{a} z \operatorname{sh} \frac{\pi z}{a} \sin \frac{\pi y}{a} \right] + \\
& \left. + \frac{u_0 p}{48 h \pi^2 A_{cp}} [4(z+y-a)^3 + 6a(z+y-a)^2 - a^3] \right\} \dots, \quad (42)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
u_z = & -\frac{1}{R_0} \left\{ A_1 \left[\frac{\pi}{a} \operatorname{sh} \frac{\pi(a-z)}{a} \cos \frac{\pi y}{a} - \frac{\pi}{a} \operatorname{ch} \frac{\pi y}{a} \sin \frac{\pi z}{a} - \right. \right. \\
& \left. - \frac{\pi}{a} \operatorname{ch} \frac{\pi(a-y)}{a} \sin \frac{\pi z}{a} - \frac{\pi}{a} \operatorname{sh} \frac{\pi z}{a} \cos \frac{\pi y}{a} \right] + \\
& + C_1 \left[\frac{\pi}{a} (a-z) \operatorname{ch} \frac{\pi(a-z)}{a} \cos \frac{\pi y}{a} - \operatorname{ch} \frac{\pi y}{a} \sin \frac{\pi z}{a} - \right. \\
& - \frac{\pi}{a} y \operatorname{sh} \frac{\pi y}{a} \sin \frac{\pi z}{a} - \operatorname{ch} \frac{\pi(a-y)}{a} \sin \frac{\pi z}{a} - \\
& \left. - \frac{(a-y) \pi}{a} \operatorname{sh} \frac{\pi(a-y)}{a} \sin \frac{\pi z}{a} - \frac{\pi}{a} z \operatorname{ch} \frac{\pi z}{a} \cos \frac{\pi y}{a} \right] + \\
& \left. + \frac{u_0 p}{48 \pi^2 h A_{cp}} [4(z+y-a)^3 + 6a(z+y-a)^2 - a^3] \right\}, \quad (43)
\end{aligned}$$

Как видно, окончательные расчетные формулы для u_y и u_z получились довольно громоздкими. Однако, нетрудно видеть, что все функции, входящие в выражения для u_y и u_z легко табулируются, если задаться значениями относительных координат $\frac{y}{a}$, $\frac{z}{a}$ и $\frac{2A}{\mu} = K$.

С учетом этого замечания формулы для u_y и u_z можно представить в следующем виде:

$$u_y = 0,003 \frac{u_0 a^2}{R_0 A_{cp}} f_1(y, z) \quad (44)$$

$$u_z = -0,003 \frac{u_0 a^2}{R_0 A_{cp}} f_2(y, z) \quad (45)$$

Значения функций $f_1(y, z)$ и $f_2(y, z)$ приведены на рис. 2. При $K = 0$ общая картина поперечной циркуляции выражаемая расчетными формулами (44) и (45) представлена на рис. (1).

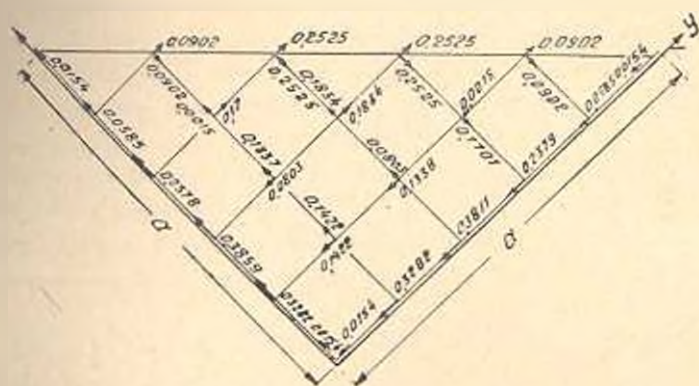


Рис. 2.

Из рис. (1) видно, что качественная картина поперечной циркуляции в треугольном водоводе вполне подтверждается данными как модельных, так и натурных наблюдений [14]. Количественное сопоставление не можем делать так как в опубликованных работах не приводятся необходимые для этого данные.

При других эпюрах распределения продольных скоростей изложенный выше метод, а также ход решения задачи остаются неизменными.

Водно-энергетический институт
Академии наук Армянской ССР

Поступило 6 I 1957

Ա. Կ. ԱՆԱՆՅԱՆ

ԸՆԴՀԱՅՆԱԿԱՆ ՅԻՐԿՈՒՂՅԱՑՈՒԱՅԻ ԽՆԴՐԻ ՄՈՏԱՎՈՐ ԼՈՒՍՈՒՄԸ ՆՈՒԱՆԿՅՈՒՆԱԶԵՎ ԶՐԱՏԱՐ ՈՒՐՈՒՆՆԵՐՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ո ի մ

Հոդվածը նվիրված է հասնելու համար տառադարձությանը ջրատար ուղի-
րաններում գերիշխող խնդրի լուծմանը:

Ստացված արդյունքները կարող են կիրառվել մի շարք պրակտիկ խն-
դիրների լուծման համար, որոնք հանդիպում են հիդրոտեխնիկայի գոյնական
ընթացքներում:

Ինչերով միջինացրած քառ ժամանակի տարբերվելու շարժման զիջի-
րենցիով համապատասխանից, կիրառելով փոքր պարամետրի մեթոդը, հնարա-
վոր է դառնում նշված համապատասխանից պարզեցնել: Որպես փոքր պարա-
մետր վերցրված է ջրատարի լայնությունը և ուղղանի շառավղի հարաբերու-
թյունը, շարժման համապատասխանից պարզեցնելու ժամանակ անտեսված են
բոլոր այն անդամները, որոնք ունեն $O\left(\frac{h^2}{R^2}\right)$ և այլնի բարձր կարգ:

Պարզեցրած համապատասխանից (13) արտաքսելով ճնշման մեծությունը
և օգտվելով անխզելիության համապատասխանից հնարավոր է գտնում ստանալ

շարժման վիճակն համապատասխանաբար առանցքափնտրելի պարանների համար. (15). համապատասխան ինտեգրերն համար որոշված են սահմանային պայմանները հարժ և խորզարոյ պատերի դեպքում: Հարժ պատերի համար սահմանային պայմանները (17), (20) ստացված են, ընդունելով, որ պատերի մոտ առաջանում է լամինար թաղանթ. խորզարոյ պատերի դեպքում լամինար թաղանթը կարող է բոլորովին չառաջանալ, իսկ եթե առաջանա էլ, ապա նա ոչ մի դեր չի կարող խաղալ զինամիկ պրոցեսների համար:

Օգտվելով Բ. Գ. Գալչրիկինի մեթոդից ստացված է գիֆերենցիալ համապատասխան (15) ինտեգրալը համապատասխանում է հարժ պատեր ունեցող ջրատարի համար: Անհրաժեշտ է նշել, որ համապատասխան ժամանակ տարրալեռնությունը պրծակցի փոփոխական արժեքը. խնդրի պարզեցման համար, փոխարինված է նրա միջին արժեքով՝ ըստ կարվածքի մակերևույթի:

Ստացված վերջնական հաշվային բանաձևի համար (44), (45) կազմված են աղյուսակներ ընդունելով, որ լամինար թաղանթի հաստությունը համապատասխան է զրոյի:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. А. К. Анимян — О распределении вязкости в потоке с поперечной циркуляцией. ДАН СССР, том 109, № 2, 1956 г.
2. А. К. Анимян — Уравнения движения турбулентного потока на повороте подонода. ДАН СССР, том XCIII № 4, 1953 г.
3. А. К. Анимян — Поперечная циркуляция при изгибе турбулентного потока в подонодах круглого и прямоугольного сечения. Известия Академии наук Армянской ССР, том VI, № 1, 1952 г. Серия физ. мат., естеств. и техн. наук. Ереван, 1953 г.
4. А. К. Анимян — Поперечная циркуляция при изгибе турбулентного потока. Автореферат докторской диссертации. Ереван, 1952 г.
5. А. Н. Патрашев — Гидромеханика. Военно-морское издательство Военно-морского министерства Союза ССР, Москва, 1953 г.
6. В. М. Маккавеев — К динамике твердого и жидкого стока свободных потоков при прямолинейном и извилистом руслах. Труды по гидрологии Гидрометеонадат. Ленинград—Москва, 1938 г.
7. В. М. Маккавеев — Некоторые теоретические задачи динамики открытых потоков. Труды государственного Гидрологического института, выпуск 8 (62), Гидрометеонадат, Ленинград, 1948 г.
8. Л. А. Оганесян — Уравнение распределения поперечных скоростей и коэффициент турбулентного перемешивания при движении жидкости на повороте. Известия Акад. наук Армянской ССР, том VI, № 3. Серия физ. мат., естеств. и тех. наук. Ереван, 1953 г.
9. Л. А. Оганесян — О поперечной циркуляции в напорной трубе на ее повороте. Доклады АН Армянской ССР, том XV, № 3, 1952 г.
10. Л. А. Оганесян — О турбулентном движении жидкости на повороте напорного подонода. Автореферат кандидатской диссертации. Ереван, 1954 г.
11. Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшиц — Механика сплошных сред. Государственное издательство технико-теоретической литературы. Москва, 1953 г.
12. И. А. Розовский — К вопросу о распределении скоростей на изгибе потока. АН Украинской ССР, Институт Гидрологии и гидротехники. Киев, 1954 г.
13. Б. Г. Галеркин — Упругие тонкие пластинки. Госстройиздат. Ленинград—Москва, 1933 г.
14. Л. А. Большаков — Поперечная циркуляция в потоке сжатого сечения. Труды ВНИИГиМ, том XXX, Сельхозгиз, Москва, 1950 г.

ИНЖЕНЕРНАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ

Б. К. КАРАПЕТАН

РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЙСМОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ПРИ МАССОВЫХ ВЗРЫВАХ

Сейсмометрические наблюдения при массовых взрывах Институтом стройматериалов и сооружений АН Армянской ССР проводятся начиная с 1953 г. Некоторые данные по взрывам 1953—1954 гг. опубликованы [1]. В настоящей работе приведены основные результаты сейсмометрических наблюдений при массовых взрывах, произведенных в 1955—1956 гг. в различных районах Армянской ССР. Регистрирующим прибором при этом служил портативный сейсмометр АНС-2, снабженный маятниками с периодами свободных колебаний: горизонтальных—0,05; 0,1; 0,2; 0,4 сек. и вертикальных—0,05; 0,1, 0,2 сек., с логарифмическим декрементом затухания $\delta = 0,2—0,4$, приближенно моделирующим здания и сооружения, имеющие такие же характеристики [2].

При проведении сейсмометрических наблюдений мы лишены были возможности регулировать количество заряда, выбирать место для взрыва и т. д., поскольку замеряли лишь те взрывы, которые производились в соответствии с производственным планом Армвзрывпрома.

Автор считает своим долгом выразить благодарность и. о. инж. Р. С. Вартапяну, инж.-геологу Б. Х. Малинцяну, канд. техн. наук А. Н. Сафаряну и главн. инженеру Армвзрывпрома Г. С. Туманову за участие в выполнении настоящей работы.

Взрыв в Маралике

Взрыв в Маралике произведен в косогоре, в светлосерых дацитовых породах, с целью получения щебня и песка.

На участке были установлены два сейсмометра, № 9 и № 6, на расстоянии 11 и 21,5 м от места взрыва, на возвышенности.

Существенным при этом явилась возможность замера в непосредственной близости от места взрыва больших величин приведенных сейсмических ускорений, полученных для горизонтальной составляющей с периодом свободных колебаний $T = 0,05$ сек. С увеличением периода свободных колебаний величина приведенного сейсмического ускорения резко уменьшалась, а именно: для $T = 0,05$ сек. $\tau = (12—16)g$, а для $T = 0,4$ сек. $\tau = (0,6—0,8)g$, т. е. при увеличении периода свободных колебаний в 8 раз (от 0,05 до 0,4 сек.), приведенное ускорение уменьшилось в 20 раз.

Таким образом, характер зависимости приведенного сейсмического ускорения от периода свободных колебаний получился таким же, что и при взрывах прошлых лет на ГюмушГЭСстрое [1].

Для сейсмометра № 6 при $T = 0.1$ сек. получился значительный рост величины горизонтальной составляющей приведенного сейсмического ускорения, по сравнению с сейсмометром № 9, что, повидимому, можно объяснить расположением первого сейсмометра наверху склона. Что касается вертикальной составляющей сейсмометра № 6, то она, в отличие от обычно наблюдаемой закономерности, возростала с увеличением периода свободных колебаний.

Взрывы в Дтмашене

Взрывы в этом районе производились в связи с проведением железнодорожной линии Ереван—Севан. Для выяснения геологического строения местности были пройдены шурфы глубиной 6 м. Они показали, что участки, где произведены взрывные работы, в основном представлены ошлакованными андезито-базальтовыми породами глыбоного характера.

Приводим данные по двум взрывам.

Первый взрыв произведен в косогоре, с углом откоса в среднем 35° . Для производства замеров были установлены три сейсмометра (№№ 9, 8 и 7) на расстоянии 75, 127 и 197 м перпендикулярно к линии шурфов, считая от среднего, на относительно равнинном участке.

Интересным здесь является полученная для горизонтальных маятников с периодами свободных колебаний $T = 0.05$ и 0.1 сек квадратичная зависимость приведенного сейсмического ускорения от расстояния места взрыва (табл. 1).

Таблица 1

№№ сейсм.	Расстояние от места взрыва в м	Величина приведен. сейсмич. ускорения	
		при $T = 0.05$ сек	при $T = 0.1$ сек
9	75	7,768 g	4,584 g
8	127	2,595 g	1,548 g
7	197	1,142 g	0,726 g

Для остальных периодов свободных колебаний такой закономерности не наблюдалось.

Из табл. 1 можно усмотреть еще и другое интересное соотношение, а именно: с увеличением периода свободных колебаний в два раза, для всех трех сейсмометров

расположенных на различном расстоянии от места взрыва, которое меняется почти в три раза, величина приведенного сейсмического ускорения уменьшалась в одно и то же число раз, в данном случае примерно 1,7 раза.

Второй взрыв произведен на равнинном участке. При этом получены показания трех сейсмометров: двух установленных на расстоянии 127 (№ 7) и 197 (№ 9) по одну сторону от линии шурфов и одного (№ 8) установленного вдоль линии шурфов на расстоянии 75 м от крайнего шурфа или 130 м от среднего шурфа.

Из показаний сейсмометров № 7 и № 9 можно заметить, что с увеличением расстояния от места взрыва примерно в 1,5 раза произошло уменьшение величины приведенного сейсмического ускорения для $T = 0,05$ сек. в 5 раз, а для $T = 0,4$ сек. в 1,5 раза.

В этом случае отмеченной при предыдущем взрыве закономерности не получилось.

Если сравнить показания сейсмометров № 7 и № 8, установленных примерно на одинаковом расстоянии (первый перпендикулярно, а второй — вдоль линии шурфов), то можно заметить, что сейсмический эффект в направлении перпендикулярном к линии шурфов оказался примерно в три раза больше, чем вдоль шурфов.

Взрывы в Двине

На этом участке произведены два взрыва в конгломератах, песчаниках и мергелях.

При первом взрыве показания получены только от двух сейсмометров, установленных на возвышенности и на равнинном участке, на расстоянии 56 и 85 м (сейсмометры № 8 и № 6).

Величина приведенного сейсмического ускорения, несмотря на относительно небольшое количество взрывчатки, оказалась очень большой (до $11g$). Тем самым подтверждаются полученные нами в прошлом результаты по ГюмушГЭСстроу, где на мергелях ускорения получались примерно в три раза больше, чем на липаритах. При увеличении периода свободных колебаний горизонтальной составляющей от 0,05 до 0,4 сек. величина приведенного сейсмического ускорения на равнине уменьшалась в 66 раз ($3,542$ и $0,054g$), а на возвышенности в 31 раз ($10,864$ и $0,353g$); для вертикальной составляющей уменьшение получилось на равнине в 5 раз ($1,494$ и $0,268g$), а на возвышенности в 10 раз ($6,358$ и $0,672g$), т. е. обратное.

Происходило сильное уменьшение величины приведенного сейсмического ускорения от расстояния, а именно: с увеличением расстояния в 1,5 раза ускорение уменьшалось в 3 и более раз. Тут, конечно, сказывается и влияние возвышенности, поскольку ближний сейсмометр был установлен на холме.

При втором взрыве показания были получены сейсмометрами № 6 и № 8, установленными между холмами, в ущельях, на расстоянии 108 и 171 м от места взрыва. Несмотря на то, что при этом взрыве было заложено взрывчатки в 8 раз больше, чем при предыдущем, однако приведенные сейсмические ускорения получились намного меньшей величины. Видимо тут сказалось расположение сейсмометров в ущельях. С увеличением расстояния от места взрыва в 1,6 раза произошло уменьшение приведенного сейсмического ускорения для $T = 0,05$ и 0,1 сек. примерно в 3 раза, а для $T = 0,2$ и 0,4 сек. всего в 1,5 раза.

Взрывы в Талише

Взрывы были произведены на трассе шоссеиной дороги Аштарак — Ленинан, у Шамирамского оврага, недалеко от с. Талиш.

Местность представляла собой равнинное пространство, занятое андезито-базальтовыми и туфовыми образованиями. Шоссе на этом участке проходило по равнинному туфовому плато. Южнее и севернее от плато туфовых лав обнажались андезито-базальтовые породы. Резко выраженные в Шамирамском овраге отдельности горных пород получились от системы двух горизонтальных трещин, разделяющих флюетонную туфовую лаву на три горизонта, из которых наиболее мощным являлся средний пласт, толщиной до 10—16 м. Системой вертикальных трещин толща туфовой лавы разбита на вертикальные „призмы“. В итоге получилась своеобразная форма отдельности в виде громадных параллелепипедов. Вблизи „контактных“ линий, вдоль вертикальных трещин образовался ряд пещер. Весь этот комплекс сверху перекрыт красной туфовой лавой, содержащей большое количество включений эффузивных пород. Были замерены два взрыва, произведенных по одному на каждом берегу оврага. При первом взрыве, осуществленном на левом берегу оврага, было установлено 8 сейсмометров в различных грунтовых условиях и на различных расстояниях от места взрыва. Сейсмометры № 11 и № 9 были установлены на левом берегу оврага на расстоянии 185 м от линии шурфов, для регистрации колебаний блочных пород у обрыва и выветренного скального массива равнины. На дне оврага у левого берега на том же расстоянии от шурфов был установлен сейсмометр № 3, для определения сейсмозффекта на дне оврага, на глубине 11 м от поверхности. Все три сейсмометра были установлены на скальных породах. На правом покатом берегу оврага с углом наклона порядка 20° были размещены остальные 5 сейсмометров: сейсмометр № 6 на дне оврага у пересечения откоса с поймой, на глинистых пластичных грунтах, содержащих иалуну, на расстоянии 124 м от крайнего шурфа; сейсмометр № 12 на склоне на расстоянии 25 м от сейсмометра № 6, на скале; сейсмометр № 13 на расстоянии 18 м от сейсмометра № 12, на скале, у верха склона; сейсмометры № 7 и № 8 на том же берегу оврага на расстоянии 13 и 49 м от сейсмометра № 13, соответственно на скале и на глинистом пролювии с обломками. Установка правобережных сейсмометров имела целью определить величину сейсмозврывающего эфффекта при прохождении волн через толщу дна оврага, что по характеру ближе подходит к распространению сейсмических волн при землетрясении.

План местности с расположением шурфов и сейсмометров показан на фиг. 1. На фиг. 2 приведена фотография левого берега оврага.

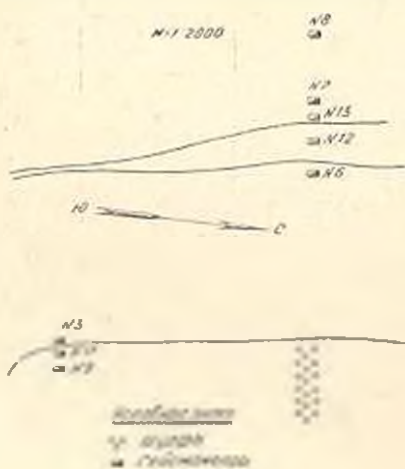
При втором взрыве, осуществленном на правом берегу оврага, было установлено 6 сейсмометров: сейсмометры № 3 и № 11 на левом берегу на скале и в тех же местах, что и при первом взрыве; сейсмометры № 7, № 13 и № 8 на правом берегу оврага в 5 м от обрыва, на расстоянии 150, 190 и 230 м (все они были установлены на скале);

сейсмометр № 12 на дне оврага у правого берега на глинистом пролювии с обломками.

План участка с расположением сейсмометров и шурфов показан на фиг. 3.

В результате сейсмометрических наблюдений, произведенных при обоих взрывах, вычислены величины приведенных сейсмических ускорений. Проанализируем полученные данные.

Интересно определить сейсмический эффект в зависимости от обрыва по сейсмометрам № 3 и № 11, установленным на скале, на левом берегу, на дне оврага и на обрыве высотой 11 м. при обоих взрывах, а именно: при первом взрыве, который был произведен на том же берегу, где были установлены сейсмометры, т. е. при сейсмических волнах непосредственно приходящих к этим сейсмометрам через толщу массива (при этом шурфы имели глубину 7—9 м) и при втором взрыве, сейсмические волны которого приходили с другого берега, фактически проходя по широкому оврагу через толщу породы дна оврага (шурфы на глубине 3—6 м). При первом взрыве сейсмический эффект от горизонтальных колебаний на дне оврага и на обрыве получился примерно одинаковый, а именно: для $T = 0, 0,5$ сек. — 2,24 и 2,22g, а для остальных периодов (0,1; 0,2 и 0,4 сек.) соответственно — 1,57 и 1,62g; 1,28 и 1,3g; 0,37g и 0,36g. Что касается вертикальной составляющей, то для $T = 0,05$ сек. сейсмический эффект оказался большим на дне оврага (0,64 и 0,37g), а для периодов 0,1 и 0,2 сек. — на обрыве (0,31g и 0,21g; 0,39g и 0,27g). Отсюда можно прийти к выводу, что при сейсмовзрывных волнах направленных вдоль оврага поведение сооружений на горизонтальную сейсмическую силу как очень жестких, так и сравнительно гибких, на обрыве и на дне оврага будет практически одинаковым; на вертикальную силу сооружения очень жесткие будут вести себя лучше на обрыве ($T = 0,05$ сек), а сооружения менее жесткие ($T = 0,1$ и 0,2 сек.) — на дне оврага. При втором взрыве сейсмический эффект для $T = 0,05$ и 0,1 сек. на дне оврага получился намного больше, чем на обрыве, а именно: 1,3 и 0,14g; 1,44 и 0,28g от горизонтальных колебаний и соответственно 0,39 и 0,11g; 0,25 и 0,1g от вертикальных колебаний. При увеличении периодов свободных колебаний, сейсмический эффект как на дне оврага, так и на обрыве становился почти одинаковым (горизонтальная составляющая для $T = 0,2$ сек. 0,5g в овраге и 0,39g на обрыве; для $T = 0,4$ сек., соответственно 0,1 и 0,11g; вертикальная состав-



Фиг. 1.

Участок и дата изрыва	Количество шурфов	Глубина шурфов в м	Расстояние между шурфами в м	Количество взрывчатки в кг
Марьяик 30.VIII.1955	6	5,8÷7,2	6,5÷8,5	1720
Дтмашен 6.X.1955	17	4,4÷8,8	5÷10	23800
Дтмашен 1.XI.1955	26	3,5÷5,0	4÷6	13540
Двин 25.XI.1955	13	3÷3,7	2,8÷3,4	2160
Двин 4.XII.1955	17	3,3÷7,8	3,0÷7,5	17030
Талиш 1.III.1956	40	5÷9	3,5÷4,5	26720
Талиш 21.III.1956	30	3÷6	3÷6	13500
Тохмахангель- ский карьер 17.VI.1956	Штольня высотой 1 м, глубиной 6 м			124

* Расстояние указано вдоль линии шурфов, считая от среднего шурфа, в отличие от остальных, отсчитываемых перпендикулярно к линии шурфов.

Грунты	Расстояние от места взрыва в м	№ сейсмометров	Приведенные сейсмические ускорения в долях g						
			Горизонтальные маятники				Вертикальные маятники		
			0,05	0,10	0,20	0,40	0,05	0,10	0,20
Светлосерые глины	11 21,5	9 6	16,371 11,513	7,542 10,242	3,864 3,432	0,900 0,666	6,594 3,752	5,940 5,354	— —
Опаловатые известково-глинистые глинистого характера	197	7	1,142	0,726	0,975	0,286	0,671	0,548	0,173
	127	8	2,595	1,548	0,782	0,203	1,768	0,792	0,743
	75	9	7,768	4,584	3,080	0,683	2,983	3,023	1,403
	197	9	0,803	0,737	0,497	0,136	0,654	—	0,365
	127	7	4,152	1,403	0,944	0,192	6,530	0,440	—
	130*	8	1,488	0,421	0,264	0,061	1,020	—	0,131
Коричневато-песчаные и мергеля	83	6	3,542	1,045	0,404	0,054	1,494	0,525	0,268
	56	8	10,864	3,956	1,169	0,253	6,358	2,802	0,672
	108	6	1,378	1,318	0,565	0,123	0,697	0,434	0,212
	171	8	0,346	0,294	0,315	0,073	0,136	0,220	0,094
Флюидная буффонная	185	9	1,798	1,877	1,612	0,400	0,785	0,694	0,515
	230*	7	0,934	0,516	0,351	0,120	0,494	0,515	0,653
	185	11	2,222	1,616	1,295	0,361	0,372	0,314	0,388
	185	3	2,441	1,572	1,282	0,365	0,628	0,214	0,267
	279*	8	0,138	0,206	0,230	0,096	0,201	0,026	0,056
	199*	12	0,816	0,408	0,298	0,070	0,316	0,339	0,336
	217*	13	0,720	0,710	0,340	0,039	0,340	0,431	0,477
	185	3	1,298	1,144	0,497	0,102	0,387	0,251	0,212
	150	7	2,906	2,836	1,527	0,275	2,471	1,112	0,420
	230	8	2,318	1,050	0,803	0,163	0,340	0,273	0,426
	185	11	0,143	0,279	0,387	0,110	0,109	0,095	0,165
	230	12	3,360	2,122	0,454	0,084	0,768	0,480	0,121
	190	13	3,432	2,490	0,968	0,163	1,812	0,286	—
Глинисто-соденная толща	35	11	7,409	2,168	0,453	0,093	2,716	0,599	0,188
	50	10	4,440	1,604	0,276	—	2,312	—	—
	20	9	2,825	1,634	0,331	0,044	4,113	1,699	0,195
	60	5	2,566	1,074	0,179	0,035	1,501	1,002	—
	40	8	2,145	1,041	0,582	—	7,072	2,068	0,544
	40	3	1,885	3,302	0,479	0,072	4,963	0,763	1,234
	40	4	1,866	0,525	0,103	—	0,650	0,507	—
	80	7	1,799	0,836	0,162	—	1,200	0,407	0,089
	45	12	1,056	0,564	0,162	—	1,492	0,901	0,224

ляющая для $T = 0,2$ сек. в овраге $0,21g$, а на обрыве $0,17g$). Такое же соотношение получилось и по показаниям сейсмометров: № 12, расположенного на дне оврага на глинистом пролювии с обломками, и № 8 установленного на обрыве на скале (при менее отвесном обрыве, примерно 60°) при этом же взрыве.

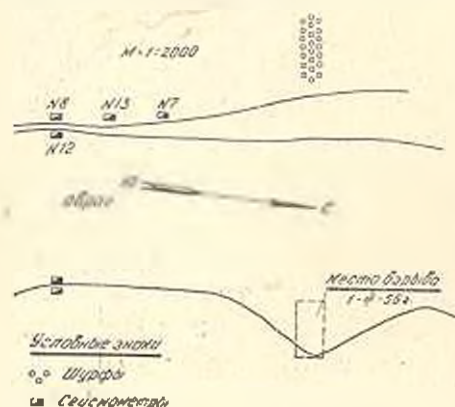
Вопрос этот может быть освещен и по показаниям сейсмометров.



Фиг. 2.

установленных на правом берегу оврага: № 12 на склоне и № 13 на обрыве, оба на скале, при первом взрыве. При этом наблюдалось сле-

дующее соотношение: при горизонтальных колебаниях для $T = 0,05$ и $0,1$ сек. приведенные сейсмические ускорения получились примерно одинаковыми ($3,36$ и $3,43g$; $2,12$ и $2,49g$), а для $T = 0,2$ и $0,4$ сек. на обрыве существенно больше ($0,45$ и $0,97g$; $0,08$ и $0,16g$); при вертикальных колебаниях для $T = 0,05$ сек. большие ускорения на обрыве ($0,77$ и $1,81g$); для $T = 0,2$ сек. — ($0,49$ и $0,27g$).



Фиг. 3.

Интересно сравнить показания сейсмометров № 11 и № 9 при первом взрыве, установленных на левом берегу оврага перпендикулярно к линии шурфов, соответственно, на трещиноватых породах у обрыва и на выветренном скальном массиве

равнины, а также по сейсмометрам № 13 и № 7, установленных вдоль линии шурфов на правом берегу оврага, на скальном основании, на обрыве наверху склона и на равнине. Расстояние между этими двумя группами сейсмометров было примерно одинаковое (10—12 м). По показаниям сейсмометров № 11 и № 9 для $T = 0,05$ сек. горизонтальная составляющая приведенного сейсмического ускорения на обрыве получилась больше, чем на равнине (2,22 и 1,8g), для остальных периодов колебаний на равнине несколько больше, чем на обрыве, а вертикальная составляющая существенно больше. Для сейсмометров № 13 и № 7 примерно то же, но с той лишь разницей, что максимальное приведенное сейсмическое ускорение на обрыве получилось для горизонтальной составляющей с периодом 0,1 сек. а не 0,05 сек., как при сейсмометрах № 11 и № 9.

Сравнивая соответственно показания сейсмометров № 11 и № 13, а также № 9 и № 7, замечаем, что наличие оврага по пути сеймовзрывных волн сильно сказывается на величину горизонтальной составляющей приведенного сейсмического ускорения, уменьшая ее в 2—4 раза, и почти не влияет на вертикальную составляющую.

Взрыв на Тохмахангельском карьере

Взрыв произведен на эксплуатируемом карьере Тохмахангельского месторождения гипса.

В геологическом строении района месторождения принимают участие вулканогенно-осадочные породы, представленные соответственно долеритовыми базальтами и гипсоносной соленосной толщей. В процессе разработки карьера образована слабонаклонная площадка в склоне шириной до 100 м, на которой залегает неодинаковой мощности насыпной слой от 2 до 3 м. В выемке в средней части площадки отмечается выход грунтовых вод. Рельеф местности имеет уклон в южном направлении. Отмечается уступ террасы высотой до 30—40 м. На террасе расположены одноэтажные жилые дома с кладкой стен на глиняном растворе, с толстой земляной кровлей.

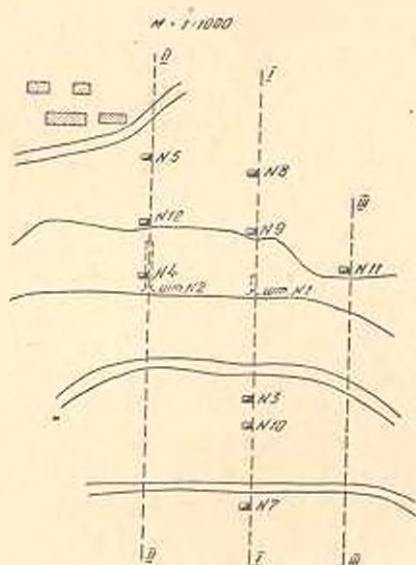
Разработке подвергнут северный склон, в котором и была пройдена штольня высотой 1 м и глубиной 6 м. В штольне было заложено 124 кг взрывчатки. Сейсмометры в количестве 9 штук были размещены следующим образом (см. фиг. 4 и 5).

По грунтовому профилю 1—1 установлено 5 сейсмометров: сейсмометр № 3 на относительно свежем, слабо укатанном слое насыпи мощностью 2—3 м; сейсмометр № 10 в 10 м от первого, на слое подонных глин, призван оценить влияние обводнения грунтов на интенсивность сотрясения; сейсмометры: № 9 на бровке обрыва и № 8 в 22 м на наклонной террасе на базальтах, призваны оценить влияние рельефа и характера грунтов на интенсивность сотрясения; сейсмометр № 7 на расстоянии порядка 80 м от места взрыва, для определения радиуса действия взрыва.

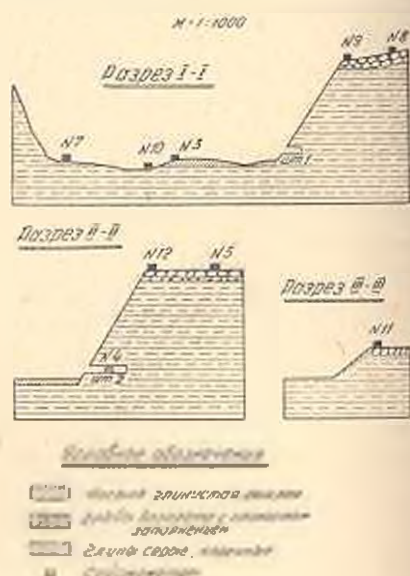
По грунтовому профилю II—II установлено 3 сейсмометра: сейсмометр № 4 в штольне, для оценки сейсмического эффекта в глубинных слоях коренных глин; сейсмометры № 12 и № 5 аналогично сейсмометрам № 9 и № 8, но ближе к жилым домам.

По грунтовому профилю III—III установлен сейсмометр № 11, на невысокой террасе высотой 10 м, на коренных глинах.

Если сравнить полученные с помощью сейсмометров № 9 и № 8 данные, то можно заметить, что горизонтальная составляющая приве-



Фиг. 4.



Фиг. 5.

денного сейсмического ускорения для $T = 0,05$ и $0,1$ сек. на бровке получилась больше, чем на террасе, а для $T = 0,2$ сек., наоборот, на террасе больше, чем на бровке; для $T = 0,4$ сек. полных данных не имеется. Что касается вертикальной составляющей, то она для всех периодов получилась на террасе значительно больше, чем на бровке.

Для сравнения рассмотрим также данные полученные с помощью сейсмометра № 12 и № 5, установленных в тех же грунтовых условиях, что и сейсмометры № 9 и № 8, но в стороне от них, на расстоянии 40 м от места взрыва, опять таки на бровке и на террасе, но уже не наклонной. Результаты замеров показали, что горизонтальная составляющая приведенного сейсмического ускорения для $T = 0,05$ и $0,1$ сек. на террасе примерно в два раза больше, чем на бровке, а для $T = 0,2$ сек. они почти одинаковы.

Горизонтальная составляющая приведенного сейсмического ускорения для всех периодов сейсмометра № 11 получилась намного больше по сравнению с данными сейсмометров № 9 и № 12; вертикальная составляющая, если сравнить с показаниями сейсмометра № 12, больше для $T = 0,05$ сек. и меньше для $T = 0,1$ и $0,2$ сек., что можно объяснить характером грунтов и рельефом.

Если сравнить показания сейсмометра № 4, установленного в штольне, с данными сейсмометра № 5 замечаем, что горизонтальная и вертикальная составляющие для всех периодов намного меньше. Иначе говоря сейсмический эффект увеличивается на поверхности.

Сравнивая показания сейсмометров № 3 и № 10, установленных соответственно на насыпи и на водоносных глинах, замечаем, что горизонтальная составляющая приведенного сейсмического ускорения для $T = 0,05$ сек. в водоносных глинах примерно в два раза больше, чем на насыпи, а для $T = 0,1$ и $0,20$ сек., наоборот, на насыпи намного больше, чем в водоносных глинах; вертикальная составляющая приведенного сейсмического ускорения для $T = 0,05$ сек. в водоносных глинах примерно в два раза меньше, чем на насыпи. Отсюда можно заключить, что сейсмический эффект в водоносных грунтах возрастает не для всех периодов колебаний; в некоторых случаях, наоборот, даже уменьшается. В дальнейшем последнее необходимо проверить.

По той же линии, на расстоянии 40 м от сейсмометра № 3 (находящегося в 40 м от места взрыва) был установлен сейсмометр № 7. Если сравнить их показания, то можно заметить, что горизонтальные составляющие приведенного сейсмического ускорения для $T = 0,05$ сек. почти одинаковы, а для остальных периодов колебаний как горизонтальная, так и вертикальная составляющие уменьшаются в $2 \div 4$ раза при увеличении в два раза расстояния от места взрыва.

Сравнивая показания сейсмометров № 3 и № 8, расположенных на одинаковом расстоянии от места взрыва, но на различных высотах и на различных грунтах, соответственно, на насыпи и на блязлах, можно заметить, что горизонтальная составляющая приведенного сейсмического ускорения для $T = 0,05$ и $0,2$ сек. больше на высоте, а для $T = 0,1$ сек. больше внизу. Что касается вертикальной составляющей, то она намного больше на высоте, а это вполне естественно, ибо взрыв произведен в породе, на которой был установлен сейсмометр № 8.

В ы в о д ы

1. Кривые приведенных сейсмических ускорений, полученные для различных геологических условий, расстояний от места взрыва и количества заряда имели примерно гиперболический характер. В некоторых случаях с возрастанием периодов свободных колебаний ($T = 0,05 \div 0,4$ сек.) наблюдалось более резкое ослабление сейсмического эффекта, например, в Маралике примерно в 20 раз (при этом максимальное значение приведенного сейсмического ускорения достигало $16g$), в Двине 30–60 раз ($\tau = 11g$).

2. Величина приведенного сейсмического ускорения сильно уменьшалась с увеличением расстояния от места взрыва. Однако общей закономерности установить пока не удалось. Можно говорить лишь об отдельных взрывах. Так, например, при втором взрыве в Дтмашене для

$T=0,05$ и $0,1$ сек. получилась квадратичная зависимость приведенного сейсмического ускорения от расстояния, при других взрывах — кубическая и даже выше, и иногда и, наоборот, приближающаяся к линейной.

При упомянутом взрыве отношение приведенных сейсмических ускорений, соответствующих $T=0,05$ и $0,1$ сек. получилось постоянным для различных расстояний, меняющихся почти в 3 раза.

3. Сейсмический эффект в мергелях (Двин) получился примерно в 3 раза больше по сравнению с другими скальными породами, например, дацитах и андезито-базальтах (Маралик и Дтмашен).

4. При сейсмовзрывных волнах направленных вдоль оврага горизонтальная составляющая приведенного сейсмического ускорения на обрыве и на дне оврага для периодов колебаний в пределах $T=0,05-0,1$ сек. получилась почти одинаковой; вертикальные составляющая для $T=0,05$ сек. оказалась меньше на обрыве, а для $T=0,1$ и $0,2$ сек. меньше на дне оврага.

5. При прохождении сейсмовзрывных волн через толщу дна оврага (перпендикулярно оврагу), что по характеру ближе подходит к прохождению волн при землетрясении, как горизонтальная, так и вертикальная составляющие приведенного сейсмического ускорения для $T=0,05$ и $0,1$ сек. на обрыве получились намного меньше, чем на дне оврага. При увеличении периодов свободных колебаний величина приведенного сейсмического ускорения была почти одинаковой на обрыве.

6. Горизонтальная составляющая приведенного сейсмического ускорения для $T=0,05$ сек. на равнинном участке получилась меньше, чем на обрыве. Для остальных значений периодов свободных колебаний горизонтальная составляющая приведенных сейсмических ускорений на равнине оказалась несколько больше, чем на обрыве, а вертикальная составляющая — существенно больше.

7. Наличие оврага на пути распространения сейсмовзрывных волн сильно уменьшало горизонтальную составляющую приведенного сейсмического ускорения (2 ÷ 4 раза) и несравненно мало сказывалось на вертикальной составляющей, почти не меняя ее величину.

8. При взрывании в штольне (на глубине 30 м от поверхности) как горизонтальная, так и вертикальная составляющие приведенного сейсмического ускорения на отметке штольни получились в 2 раза меньше, чем на поверхности, а это говорит о том, что сейсмический эффект существенно увеличивается на поверхности.

9. Приведенное сейсмическое ускорение для $T=0,05$ сек. в водоносных глинах получилось примерно в 2 раза больше, чем на насыпи; для $T=0,1$ и $0,2$ сек. наоборот, на насыпи намного больше, чем в водоносных глинах. Последнее требует проверки в дальнейшем.

10. Сейсмовзрывной эффект вдоль линии шурфов, при линейном расположении их, получился намного меньше, чем перпендикулярно к линии шурфов (в Дгмашене, например, в 3 раза).

Институт строительных материалов
и сооружений АН Армянской ССР

Поступило 5. I. 1956

Ր. Կ. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ

ՄԱՍՍԱՑԱԿԱՆ ՊԱՅԹԵՑՈՒՄՆԵՐԻ ԺԱՄԱՆԱԿ ՍՏԱՅՎԱՅ ՍԵՅՍՄՈՄԵՏՐԻԿ ԴԻՏՈՒՄՆԵՐԻ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԸ

Ա. մ. փ. ո. փ. ո. մ.

Աշխատանքում քերված են 1955—1956 թվականներին մոտատրական պայթեցումների ժամանակ կատարված սեյսմոմետրիկ դիտումների հիմնական արդյունքները, Դիտումների ժամանակ օգտագործվել են АМС-2 պորտաթիվ սեյսմոմետրները, Դրանք, ունենալով տարբեր համալսականության ճանաչակներ և վերջիններին համապատասխան լողարիթմական զեկրիմաններ, իրենցից ներկայացնում են շենքերի ու կառուցվածքների որոշակի մոտավորության մոդելները, Նշված սեյսմոմետրիկ դիտումների արդյունքները հիմնականում ներկայացված են սրպես քերված սեյսմիկ արագացումների արժևներ, որոնք ստացվել էին գեոլոգիական տարրեր պայմանների, պայթեցման նյութի տարրեր քանակի և տարրեր հեռավորության վրա գտնվող մասնաշաղկան պայթեցումների ժամանակ: Ստացված արդյունքները որոշ զեպքերում կրում են մասնավոր բնույթ, մասամբ ոչ լրիվ ձևով են հիմնավորված, սակայն բնականորեն առմամբ դրանք կարող են կատարվածքների վրա սեյսմոպայթեցման ալիքների ազդեցության ուսումնասիրության հարցերում մասնակցությունը պարզեցում: Այդ արդյունքները ներկայներն են:

1. Քերված սեյսմիկ արագացումների կորերը, տարբեր գեոլոգիական պայմանների, պայթեցման տարրեր հեռավորությաններ և տարրեր քանակի պայթեցիկ նյութերի զեպքում ստացվում են իրար նման և ունեն մոտավորապես հիպերբոլիկ կորի տեսք:

2. Պայթեցման տեղի հեռացումը խիստ նվազեցնում է քերված սեյսմիկ արագացման արժեքը: Բնականորեն որոշակի օրինաչափության դրանում դանկ մեղ գեո չի հաջողվել: Կորելի է խոսել միմյանն ունենալի պայթեցումների մասին, օրինակ՝ Դգմաշենի կրկրորդ պայթեցման ժամանակ քերված սեյսմիկ արագացումների փոփոխումը տարածության ընդերք կախված, $T=0,05$ և $0,1$ վայրկ, համար, ստացվել է քառակուսային օրինաչափություն, մյուս պայթեցումների ժամանակ ստացվել է խորանարդային և ալիքի բարձր աստիճանային, իսկ որոշ զեպքերում, հակառակը՝ մոտավորապես ուղղադանի:

Դգմաշենի հիշյալ պայթեցման ժամանակ հետաքրքրության արժանի է նաև $T=0,05$ և $0,1$ վայրկ, զեպքում քերված սեյսմիկ արագացումների հաջաբերության հաստատուն լինելը, չնայած պայթեցման վայրից նրանց ունեցած հեռավորության տարբերությանը, որը 3 անգամից ավելի էր:

3. Ունյամիկ էֆեկտը մերզելներում (Դվին) համեմատած մյուս ժայռային ապարների հետ, օրինակ՝ զաջիաների և անյելդիտ-բաղլանների համար (Մարալիկ և Դգմաշեն) ստացվել է 3 անգամ մեծ:

4. Պայթեցման սեյսմիկ ալիքները ձորակի երկայնքով ուղղված լինելու դեպքում, բերված սեյսմիկ արագացման հորիզոնական բաղադրիչը դարափուլի և ձորակի հատակի համար համարյա թի միևնույնն է, տասանումների տեղումնայն $T=0.05-0.1$ վայրկ. սահմաններում. Ուղղաձիգ բաղադրիչը $T=0.1$ և 0.2 վայրկ. համար՝ փոքր է ձորակի հատակին:

5. Պայթեցման սեյսմիկ ալիքները ձորակի հատակի խորությունում անցնելու դեպքում (ձորակին ուղղահայաց), որը իր բնույթով մոտ է երկրաշարժից առաջացած ալիքներին, բերված սեյսմիկ արագացումների ինչպես հորիզոնական, այնպես և ուղղաձիգ բաղադրիչները $T=0.05$ և 0.1 վայրկ. համար դարափուլի վրա շատ ավելի մեծ են, քան ձորակի հատակին: Բերված սեյսմիկ արագացումների արժեքը, տասանումների տեղումնայն մեծանալիս դարափուլի վրա և ձորակի հատակին ձգում է միևնույն արժեքին եթե դարափուլը ուղղաձիգ է, իսկ եթե նա ունի համեմատաբար փոքր բնույթ, հակառակը՝ դարափուլի վրա բերված արագացումը մեծ է:

6. Բերված սեյսմիկ արագացումների հորիզոնական բաղադրիչը $T=0.05$ վայրկ. համար հարթավայրում փոքր է, քան դարափուլի վրա: Ազատ տասանումների տեղումնայն մյուս արժեքների գեղարված բերված սեյսմիկ արագացումների հորիզոնական բաղադրիչը որոշ չափով մեծ է հարթավայրում, քան դարափուլի վրա, իսկ ուղղաձիգ բաղադրիչը՝ շատ ավելի մեծ:

7. Պայթեցման սեյսմիկ ալիքների տարածման ուղիի վրա ձորակի առկայությունը շատ ուժեղ կերպով նվազեցնում է բերված սեյսմիկ արագացման արժեքը (2-4 անգամ) և սահմանափակում է ալիքի ուղղաձիգ բաղադրիչի վրա, համարյա չփոփոխելով նրա արժեքը:

8. Բովանջքում կատարված պայթեցման գեղարված բերված սեյսմիկ արագացման ինչպես հորիզոնական, այնպես և ուղղաձիգ բաղադրիչի արժեքը գետնի մակերեսին ստացվել է 2 անգամ փոքր, քան բովանջքի հորիզոնի վրա, պայթեցման նույն հետափորումները գեղարված:

9. Ջրատար կավերի դեպքում $T=0.05$ վայրկ. համար բերված սեյսմիկ արագացումը ստացվել է 2 անգամ մեծ, քան լցվածքային դրուսումը, իսկ $T=0.1$ և 0.2 վայրկ. համար, հակառակը՝ լցվածքայինում ստացվել է ավելի մեծ քան ջրատար կավերում:

10. Պայթեցման սեյսմիկ էֆեկտը շուրջադարձի երկայնքի ուղղությամբ շատ ավելի փոքր է, քան շուրջադարձի ուղղահայաց ուղղությամբ (Դգմաշենում, օրինակ՝ 3 անգամ):

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Կարապետյան Ե. Կ. Опыт применения сейсмометров АИС для регистрации сейсмических волн. Труды координационного совещания по сейсмостойкому строительству, Ереван, 1956.
2. Назаров А. Г. Метод инженерного анализа сейсмических сил. Ереван, 1956.

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

М. М. КАРАПЕТЯН

ВОЛНОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИБКИХ КАБЕЛЕЙ
ПЕРЕДВИЖНЫХ УСТАНОВОК

Широкое развитие передвижных электрифицированных установок, применяемых в торфяной промышленности, в сельском хозяйстве и т. д., ставит особенно остро вопрос обеспечения безопасности и безаварийной работы электрооборудования указанных установок.

Многолетний опыт показывает, что эти установки в процессе эксплуатации подвергаются воздействию атмосферных перенапряжений, вследствие чего имели место повреждения и выход из строя электрооборудования. В связи с этим грозозащита указанных установок приобретает важное значение.

Для разработки надежной схемы грозозащиты необходимо знать значение амплитуды и форму волны перенапряжения в разных элементах электроустановок.

Упрощенная принципиальная электрическая схема передвижной электрифицированной установки, применяемой в сельском хозяйстве, показана на рис. 1.

Определение амплитуды и формы волны перенапряжения расчетным путем в элементах передвижных электрифицированных установок связано с большими трудностями из-за наличия в этих установках большого количества электродвигателей и кабелей, волновые параметры которых зависят как от конструкции кабелей и двигателей, так и от условий работы установки.

При анализе эквивалентной схемы (рис. 2) выясняется, что величина перенапряжения, не касаясь пока формы падающей волны, определяется входной емкостью $C_{\text{вх}}$ питающей подстанции, волновым сопротивлением кабеля Z_k (намотанный частично или полностью на барабан), волновым сопротивлением двигателя Z_d , а также импульсными сопротивлениями заземления подстанции $R_{\text{зет}}$ и передвижной машины $R_{\text{м}}$.

Шагающие экскаваторы питаются от стационарных подстанций бронированным кабелем, а торфяные и сельскохозяйственные машины питаются от передвижных подстанций (иногда торфяные машины питаются от стационарных подстанций) небронированным резиновым шланговым кабелем.

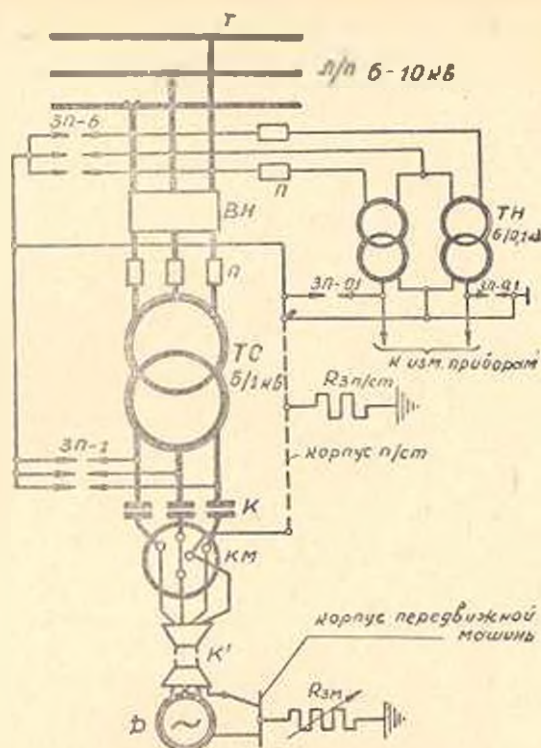


Рис. 1. Упрощенная принципиальная электрическая схема электрифицированной установки: T — токоисточник, 3П-6 — защитный промежуток на 6 кВ, П — предохранитель, ВН — выключатель нагрузки, ТН — трансформатор напряжения 6/0.1 кВ, 3П-0.1 — защитный промежуток на 0.1 кВ, ТС — трансформатор силовой 5/1.0 кВ, 75—100 кВА, 3П-1 защитный промежуток на 1.0 кВ, К — контактор, К' — кабель гибкий, D — двигатель передвижной машины.

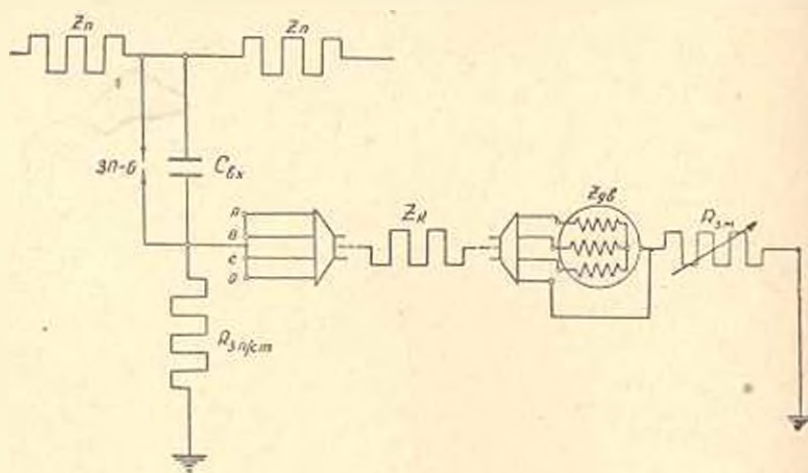


Рис. 2. Эквивалентная схема передвижных электрифицированных машин где: $Z_{\text{л}}$ — волновое сопротивление линии передачи, $C_{\text{вх}}$ — входная емкость подстанции, $Z_{\text{к}}$ — волновое сопротивление кабеля, $R_{\text{Зп/ст}}$ — сопротивление заземлений подстанции при импульсе, $Z_{\text{дв}}$ — эквивалентное волновое сопротивление двигателя, 3П-6 — защитный промежуток, $R_{\text{Зм}}$ — контактное сопротивление заземлений передвижной машины (гусеницы) с землей при импульсе.

Если для кабелей и машин шагающих экскаваторов волновые параметры, в основном, зависят от их конструкции, то волновые параметры кабелей и машин, применяемых в торфяной промышленности и в сельском хозяйстве, зависят также и от условий их работы (в основном от состояния поверхности и степени влажности грунта).

Во время работы указанных установок кабель их разматывается или наматывается на барабан, находящийся на передвижной машине, причем, даже при полной размотке кабеля все же остается некоторое число витков на барабане кабеля. Например, для электроTRACTОРА типа ХТЗ-12 минимальное число витков на барабане 12, чему соответствует длина кабеля 14 м, а максимальное число—325 витков, что составляет длину кабеля 770 м. Волновые параметры небронированного кабеля, лежащего на земле могут сильно изменяться в зависимости от состояния ее поверхности.

Насколько нам известно, в литературе имеется единственная работа Разевига Д. В. [1] по волновым параметрам бронированных кабелей. Поэтому исследование волновых параметров небронированных кабелей представляет значительный интерес. Как показали результаты исследования, волновые параметры бронированных и небронированных кабелей отличаются друг от друга в 5—10 раз [1, 2].

Определение волновых параметров небронированных кабелей теоретическим и расчетным путем, с учетом всех условий работы установки, в настоящей стадии изученности вопроса не представляется возможным. Поэтому их определение необходимо проводить экспериментальным путем.

В настоящей статье приводятся результаты экспериментального определения волновых параметров шланговых кабелей на напряжение 1,0 и 3,0 кв (рис. 3), применяемых в сельском хозяйстве и торфяной промышленности.

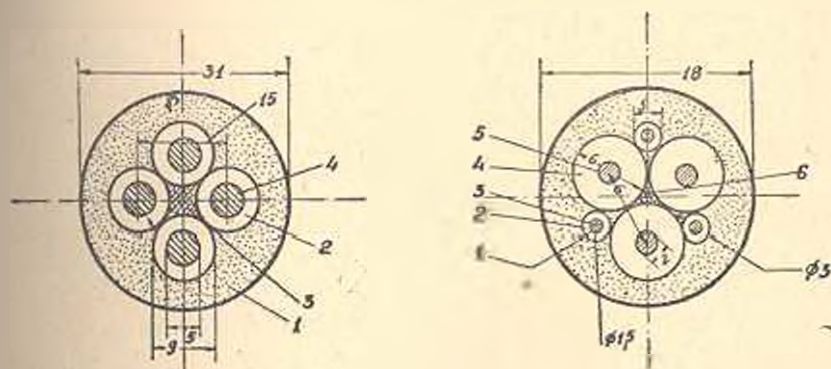


Рис. 3. Поперечное сечение небронированных шланговых кабелей на напряжениях 1 кв (левый рисунок) и 3 кв. Для кабеля в 1к2 (КШЭП $4 \times 10 \text{ мм}^2$): 1—Общая резиновая изоляция; 2—фазовая резиновая изоляция; 3—резиновый заполнитель; 4—рабочая жила. Для кабеля 3 кв ($3 \times 2,5 + 3 \times 1 \text{ мм}^2$): 1—Общая резиновая изоляция; 2—фазовая резиновая изоляция; 3—нулевая жила; 4—резиновая изоляция; 5—рабочая жила; 6—жгутовый заполнитель.

* Установка разработана инж. А. П. Сивковым [3].

При определении волновых параметров кабеля использовались методика и установка, разработанные в лаборатории ТВН им. А. А. Горева в Ленинградском политехническом институте* в 1953—54 гг., применительно к исследованию волновых характеристик высоковольтных электрических машин [2] и распространенные в дальнейшем на волновые параметры кабеля.

Экспериментальная установка.— Полагая, что в первом приближении электрические процессы в кабеле линейны и не зависят от амплитуды импульса напряжения, волновые параметры можно определить с достаточной для практики точностью при амплитуде до 1000 в.

При этом можно долагать, что в кабеле 1,0 кв, импульсной короны при таких напряжениях не будет (сечение жил $4 \times 10 \text{ мм}^2$), а для кабеля 3,0 кв — напряжение при опыте меньше номинального напряжения кабеля. При более высоких напряжениях волновые параметры кабеля изменятся, причем волновые сопротивления уменьшатся, а затухание и деформация волн увеличатся и в общем случае перенапряжение в различных элементах установки из-за изменения волновых параметров будет ниже, чем перенапряжение при пропорциональном пересчете от низкого напряжения к высокому. Следовательно, такое допущение приводит к некоторому запасу прочности изоляции элементов установки.

Установка состоит из генератора импульсных волн (ГИН) с широкой регулировкой формы волны, синхронизированного с электронным осциллографом со ждущей разверткой и комплекта измерительных устройств. От ГИН на схему подавались аperiodические импульсы 50 раз в секунду. В различные элементы схемы агрегата от делителей напряжения (омически-емкостных) и шунтов включался электронный осциллограф. Установка позволяла получать на экране электроно-лучевой трубки достаточно яркое неподвижное изображение исследуемого явления и обеспечивала удобное визуальное наблюдение и фотографирование.

Определение волновых параметров кабелей на напряжение 1,0 и 3,0 кв. При определении волновых параметров кабеля, эквивалентная схема последнего может быть представлена в виде цепочки с распределенными параметрами с бесконечно большим числом элементарных звеньев. Эквивалентная схема звена изображена на рис. 4. Для такой цепочки определялись следующие волновые параметры:

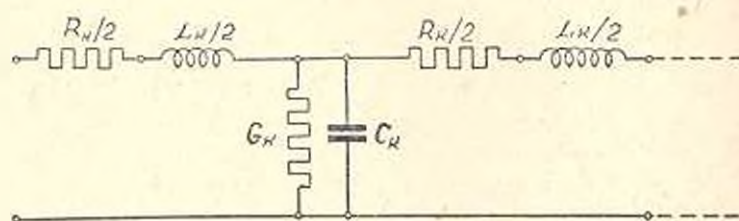


Рис. 4. Звено эквивалентной схемы кабеля.

1. Волновое сопротивление кабеля— Z_{λ} .
2. Средняя скорость распространения волны по кабелю— $V_{\text{ср}}$.
3. Коэффициент затухания электромагнитной волны по кабелю— η_k .
4. Коэффициент деформации электромагнитной волны по кабелю— K_{λ} .

С учетом условий работы установок, опыты на кабелях производились при следующих условиях:

а) Экранированный кабель, экраном которого служила алюминиевая фольга толщиной 0,03 мм плотно намотанная на кабель. Такая модель кабеля, в силу большей изученности экранированных кабелей, позволила построить экспериментальную установку, уточнить методику исследования и получить предварительные данные по волновым параметрам.

б) Кабель без экрана, поднятый над землей на высоту 25–30 см. Этому положению соответствует условие работы кабеля, когда поверхность земли неровная, в этом случае кабель касается земли в отдельных точках, находящихся друг от друга на расстоянии 50–70 см.

в) Кабель без экрана, лежащий по всей длине на земле.

Эти три условия не полностью охватывают реальные условия, но позволяют определить диапазон изменения волновых параметров кабеля во время его работы. Длина кабелей применяемых в опытах была: кабеля на 1,0 кв—127 м, кабеля на 3,0 кв—500 м.

Для определения волновых параметров кабеля при разных схемах соединения его жил (рис. 5), опыты производились при напряжениях 600–1000 вольт для волны в среднем: 1,2/4,5 мксек; 2,8/9,5 мксек и 2,8/35 мксек.

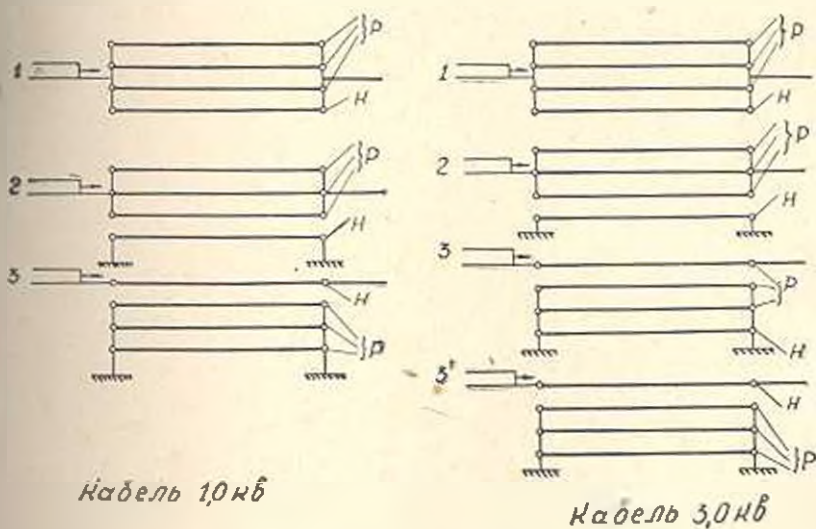


Рис. 5. Схемы соединения жил кабелей 1,0 и 3,0 кв. при опытах. Р — рабочая жила, Н — нулевая жила.

Определение волнового сопротивления кабеля Z_k . Существующие методы определения Z_k не дают возможности достаточно точно получить зависимость этих сопротивлений от формы волны проходящего по кабелю импульсного напряжения.

Рассмотрение волновых процессов позволяет характеризовать кабель с эквивалентным волновым сопротивлением, средней скоростью распространения волны и другими волновыми параметрами.

Для экспериментального определения волнового сопротивления кабеля, целесообразнее всего пользоваться методом вольтамперной характеристики [2, 3]. На такой характеристике Z_k определяется как тангенс угла наклона касательной. Очевидно, что если этот тангенс остается постоянным, то исследуемая цепь представляется постоянным волновым сопротивлением. Если восходящая ветвь характеристики близка к прямой, то аппроксимируя по тангенсу угла наклона можно найти эквивалентное волновое сопротивление

$$Z_k = \frac{K_U}{K_I} \operatorname{tg} \alpha \quad (1)$$

где: K_U — масштаб напряжения,
 K_I — масштаб тока,
 α — угол наклона
 с прямой части характе-
 ристики.

На рис. 6 по-
 казана методика оп-
 ределения Z_k . Для
 получения вольтам-
 перной характери-
 стики использована
 схема, приведенная
 на рис. 7. Для кон-
 троля определения
 Z_k сопротивление
 $R_{с2}$ подбиралось та-
 ким образом, чтобы
 от конца кабеля не
 было отражения. В
 этом случае нисхо-
 дящая ветвь вольт-
 амперной характе-
 ристики представля-
 ет собой линию, па-

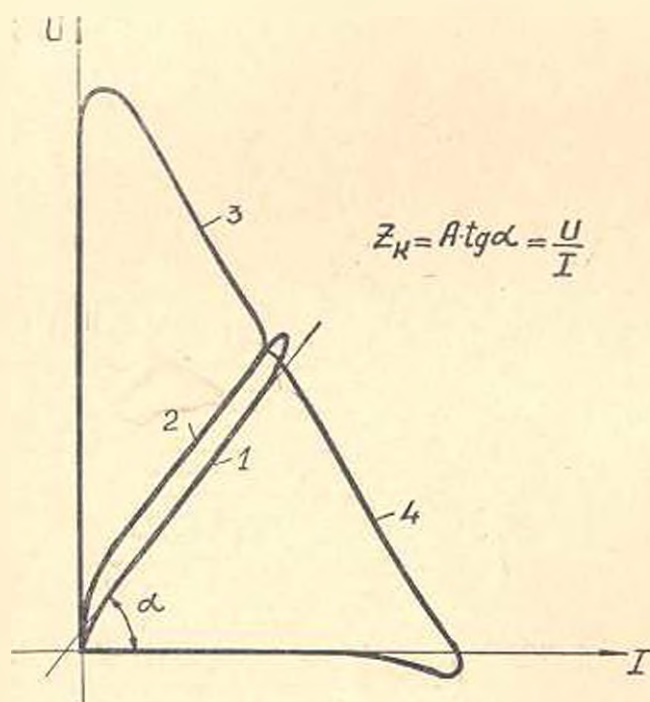


Рис. 6. Определение волнового сопротивления кабеля по вольтамперной характеристике. 1. Общая восходящая ветвь; 2. Нисходящая ветвь при согласованном сопротивлении в конце кабеля $R_{с2} = Z_k$; 3. Конец кабеля разомкнут $R_{с2} = \infty$; 4. Конец кабеля короткозамкнут $R_{с2} = 0$.

раллельную восходящей ветви или совпадающую с ней. Очевидно, что при этом $R_{с2} = Z_k$.

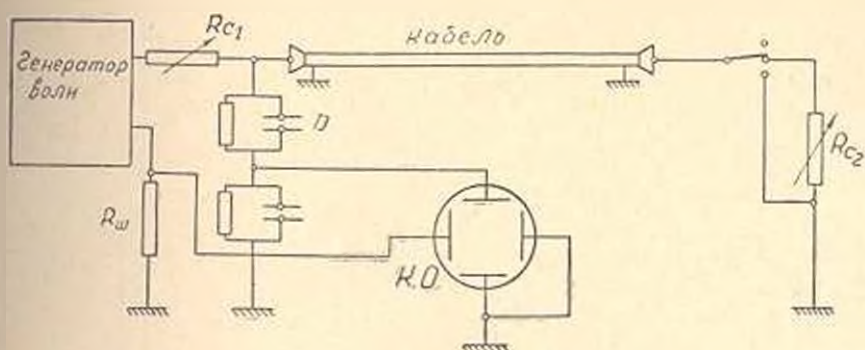


Рис. 7. Схема получения вольтамперных характеристик.

Для анализа процессов отражения волны от конца кабеля и для контроля восходящих ветвей, обычно осциллографировались характеристики при разомкнутых, короткозамкнутых и включенных на согласованное сопротивление концах кабеля. На рис. 8 приведены осциллограммы вольтамперных характеристик кабеля 1,0 кв лежащего на земле, при подаче напряжения параллельно 4-м жилам.

Результаты экспериментов по определению Z_k сведены в таблицу 1 [2].

Из полученных данных видно, что Z_k зависит от условий работы кабеля и формы волны ($Z_k = 19 - 330$ ом). Изменение Z_k определяется в основном изменением емкости кабеля. Эта емкость имеет наибольшую величину для экранированного кабеля и наименьшую для кабеля поднятого над землей, соответственно $Z_{эк} = 19$ ом и $Z_{нэк} = 330$ ом.

Если у поднятого кабеля заземлить одну из рабочих жил, то Z_k уменьшается, что указывает на увеличение емкости и уменьшение индуктивности отдельных жил. Опыты показали, что величина Z_k ри-

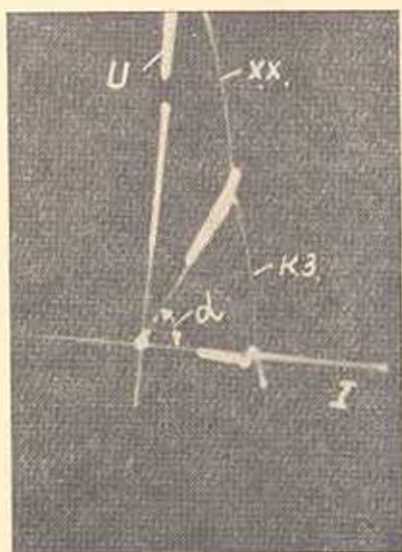


Рис. 8. Осциллограмма вольтамперных характеристик кабеля 10 кв, лежащего на земле (без экрана).

стает с уменьшением фронта волны. Наиболее четко это сказалось на экранированном кабеле. Объяснить это явление можно следующим образом. Для резиновой изоляции кабеля величина диэлектрической проницаемости ϵ_r в сильной степени зависит от частоты приложенного напряжения, причем в диапазоне применяемых в опыте частот с увеличением частоты ϵ_r уменьшается [4].

Таблица 1

Обозначение по рис. 5.	Кабель 1,0 кв 4×10 мм ²		Кабель 3,0 кв 3×2,5+3×1,0 мм ²		Условия работы кабеля
	длина фронта и длина волны f_{Φ}/f_{λ}	волновое сопротивление Z_k	длина фронта и длина волны f_{Φ}/f_{λ}	волновое сопротивление Z_k	
	$\frac{\text{мксек}}{\text{мксек}}$	ом	$\frac{\text{мксек}}{\text{мксек}}$	ом	
1	2,7/10	19	2,7/10	23	кабели экранированы
2	2,7/10	20	2,7/10	25	
3	2,7/10	41	2,7/10	55	
3'	—	—	2,7/10	26	
1	2,7/40	19	2,7/40	22	
2	2,7/40	19	2,7/40	25	
3	2,7/40	32	2,7/40	52	
3'	—	—	2,7/40	24	
1	1,6/4,3	21	1,6/4,3	34	
2	1,6/4,3	21	1,6/4,3	26	
3	1,6/4,3	31	1,6/4,3	56	
3'	—	—	1,6/4,3	23	
1	2,7/40	210	2,7/40	286	кабели подвешены над землей
2	2,7/40	49	2,7/40	32	
3	2,7/10	53	2,7/40	63	
3'	—	—	2,7/40	33	
1	1,1/5,6	214	1,6/4,3	330	
2	1,1/5,6	31	1,6/4,3	37	
3	1,1/5,6	35	1,6/4,3	64	
3'	—	—	1,6/4,3	24	
1	2,7/40	123	2,7/40	104	
2	2,7/40	38	2,7/40	30	
3	2,7/40	47	2,7/40	66	
3'	—	—	2,7/40	31	
1	—	—	1,6/4,3	125	кабели лежат на земле
2	1,6/4,5	42	1,6/4,3	32	
3	1,6/4,5	52	1,6/4,3	60	
3'	—	—	1,6/4,3	33	

Уменьшение длины фронта волны аналогично увеличению частоты приложенного напряжения. При этом емкость кабеля уменьшается, а некоторое уменьшение индуктивности за счет уменьшения связанного с жилой магнитного потока не может компенсировать влияние изменения емкости. Высказанное предположение подтверждается опытами по определению средней скорости распространения волны по кабелю.

Средняя скорость распространения волны по кабелю $V_{\text{ср}}$ определяется по времени двойного пробега волны:

$$V_{\text{ср}} = \frac{2l}{2T} \quad (2)$$

где: l — длина кабеля в метрах,

$2T$ — время двойного пробега волны по кабелю в мксек.

Методика определения $V_{\text{ср}}$ показана на рис. 9. Схема измерения приведена на рис. 10. Волна напряжения осциллографировалась в начале кабеля при разомкнутых и короткозамкнутых жилах на конце кабеля. На рис. 11 изображена осциллограмма волны в кабеле 3,0 кв при параллельном соединении 4-х жил, когда кабель поднят над землей.

Результаты опытов сведены в табл. 2.

Эксперименты показали, что $V_{\text{ср}}$ при вышеуказанных условиях работы кабеля, изменяется в пределах от 90 до 240 мксек соответственно для экранированного и поднятого над землей кабеля. При поднятом из земли кабеле, когда одна из жил заземлена, скорость падает до 154 мксек. Уменьшение скорости происходит за счет сосредоточения электрического поля в основном в среде резиновой изоляции.

Для кабеля лежащего на земле (без экрана) $V_{\text{ср}} = 100$ — 105 мксек.

Для определения коэффициента затухания волны и деформации волны была собрана схема, изображенная на рис. 12. Затухание волны определяется из следующего соотношения:

$$\eta_k = \frac{U_{\text{хол}}}{2U_n} \quad (3)$$

где: $U_{\text{хол}}$ — напряжение холостого (разомкнутого) конца кабеля.

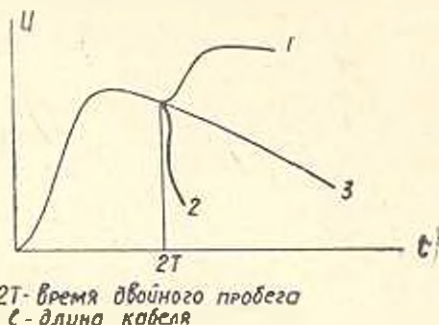


Рис. 9. Определение средней скорости распространения волны в кабеле по времени двойного пробега. Напряжение в начале кабеля: 1 — конец кабеля разомкнут; 2 — конец кабеля короткозамкнут; 3 — конец кабеля согласован.

Таблица 3

Обозначение по рас. 51	Кабель 1,0 кв 4×10 мм ²			Кабель 3,0 кв 3×2,5+3×1,0 мм ²			Условии работы кабеля
	длина фронта и длина волны в начале кабеля l_f/l_0	коэффициент затухания волны γ_k	коэффициент деформации фронта K_k	длина фронта и длина волны в начале кабеля l_f/l_0	коэффициент затухания волны γ_k	коэффициент деформации фронта K_k	
	$\frac{\lambda_{\text{фронт}}}{\lambda_{\text{волн}}}$	—	—	$\frac{\lambda_{\text{фронт}}}{\lambda_{\text{волн}}}$	—	—	
1	2,7/8,2	0,80	0,93	2,7/11	0,37	0,72	
2	2,7/8,2	0,82	0,94	2,7/10	0,76	0,91	
3	2,7/8,2	0,85	0,90	2,7/10	0,85	0,92	
3'	—	—	—	2,7/11	0,77	0,92	
1	2,7/40	0,75	0,86	3,3/40	0,42	0,58	кабели экранированы
2	2,7/40	0,84	0,90	3,3/37,5	0,84	0,88	
3	2,7/40	0,93	0,92	2,7/38	0,91	—	
3'	—	—	—	2,7/38	0,82	0,76	
1	1,7/5,5	0,77	0,85	1,4/2,5	0,32	0,58	
2	1,7/3,8	0,81	0,86	1,3/4,0	0,67	0,70	
3	1,7/4,3	0,91	0,90	1,1/3,0	0,73	0,78	
3'	—	—	—	1,1/3,0	0,59	0,72	
1	2,0/45	0,97	0,90	3,0/38	0,89	0,96	
2	3,5/35	0,95	0,96	4,3/41	0,92	0,90	
3	3,5/30	0,95	0,95	3,36/52	0,93	0,96	
3'	—	—	—	4,8/48	0,92	0,89	
1	0,82/5,5	0,88	0,74	1,12/5,5	0,70	0,75	кабели подвешены над землей
2	1,28/5,5	0,86	0,67	1,6/6,7	0,87	0,81	
3	1,28/5,5	0,84	0,61	3,0/6,0	0,81	0,91	
3'	—	—	—	3,35/6,7	0,85	0,85	
1	3,28/40	0,66	0,77	3,28/40	0,63	0,81	кабели лежат на земле
2	3,68/35	0,92	0,72	2,74/41	0,84	0,94	
3	3,5/37	0,95	0,91	3,1/40	0,90	0,92	
3'	—	—	—	2,74/34	0,82	0,92	
1	1,9/4,5	0,75	0,51	1,6/5,6	0,35	0,45	
2	1,4/4,7	0,50	0,72	1,28/6,5	0,72	0,80	
3	1,95/5,1	0,81	0,76	1,28/5,7	0,76	0,80	
3'	—	—	—	1,42/5,6	0,74	0,78	

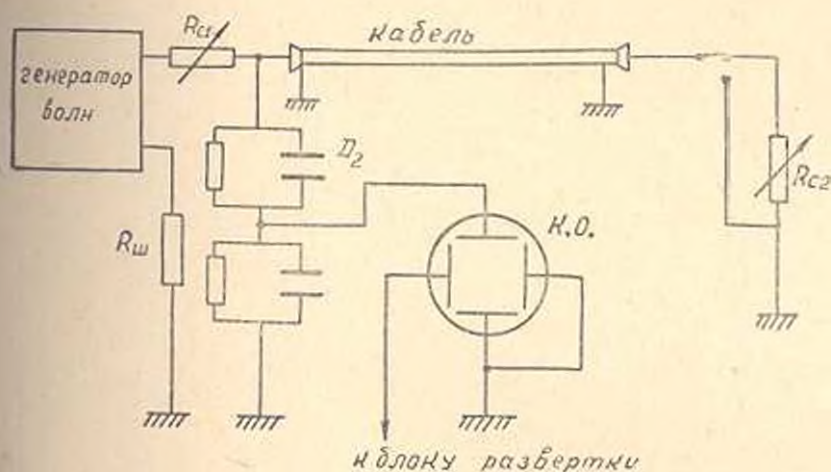


Рис. 10. Схема измерения средней скорости распространения волны.

U_n — напряжение в начале кабеля (при наличии $R_{с2} = Z_k$).

Так как время двойного пробега волны по кабелю 1,0 кв близко к длине фронта волны $2T \approx t_p$ (при длинной волне) напряжение в начале кабеля определялось при включении в конце кабеля соответствующего сопротивления $R_{с2} = Z_k$. Напряжение в конце кабеля $U_{ккк}$ измерялось при его разомкнутом состоянии, т. е. при $R_{с2} = \infty$.

По этим опытам был определен коэффициент деформации волны по кабелю K_k .

$$K_k = \frac{t_{фн}}{t_{фк}}$$

где: $t_{фн}$ — длина фронта в начале кабеля.

$t_{фк}$ — длина фронта волны в конце кабеля.

На рис. 13 изображены осциллограммы воли напряжения в начале и в конце кабеля 3,0 кв лежащего на земле.

Результаты опытов по определению τ_k и K_k сведены в табл. 3. Для всех положений кабеля опыты были проведены при напряжениях 600—1000 вольт.



Рис. 11. Осциллограмма воли напряжения 3,0 кв. кабеля при параллельно соединенных 4-х жилах. 1—конец кабеля разомкнут; 2—конец кабеля короткозамкнут.

Таблица 2

Обозначение по рис. 5	Кабель 1,0 кв 4×10 мм²		Кабель 3,0 кв 3×2,5+3×1,0 мм²		Условия работы кабели
	длина фронта и длина волны l/l_0	средняя скорость распрост. волны $V_{ср\ k}$	длина фронта и длина волны l/l_0	средняя скорость распрост. волны $V_{ср\ k}$	
	$\frac{\text{мксек}}{\text{мксек}}$	$\frac{\text{м}}{\text{мксек}}$	$\frac{\text{мксек}}{\text{мксек}}$	$\frac{\text{м}}{\text{мксек}}$	
1	2,7/10	96	27/10	100	в каб. экранированы
2	2,7/10	96	27/10	138	
3	2,7/10	112	27/10	139	
3'	—	—	27/10	139	
1	2,7/40	90	3,0/40	97	
2	2,7/40	101	3,0/40	123	
3	2,7/40	101	3,0/40	133	
3'	—	—	3,0/40	126	
1	1,6/4,3	99	1,6/4,3	106	
2	1,6/4,3	103	1,6/4,3	140	
3	1,6/4,3	135	1,6/4,3	146	
3'	—	—	1,6/4,3	141	
1	2,7/40	241	3,0/40	210	кабели подбиты под землей
2	2,7/40	154	3,0/40	132	
3	2,7/40	153	3,0/40	131	
3'	—	—	3,0/40	131	
1	1,6/4,3	221	1,6/4,3	210	кабели лежат на земле
2	1,6/4,3	112	1,6/4,3	144	
3	1,6/4,3	99	1,6/4,3	151	
3'	—	—	—	—	
1	3,0/40	95	3,0/40	85	кабели лежат на земле
2	3,0/40	93	3,0/40	122	
3	3,0/40	102	3,0/40	135	
3'	—	—	3,0/40	120	
1	1,6/4,3	105	1,6/4,3	83	кабели лежат на земле
2	1,6/4,3	99	1,6/4,3	134	
3	1,6/4,3	99	1,6/4,3	136	
3'	—	—	1,6/4,3	135	

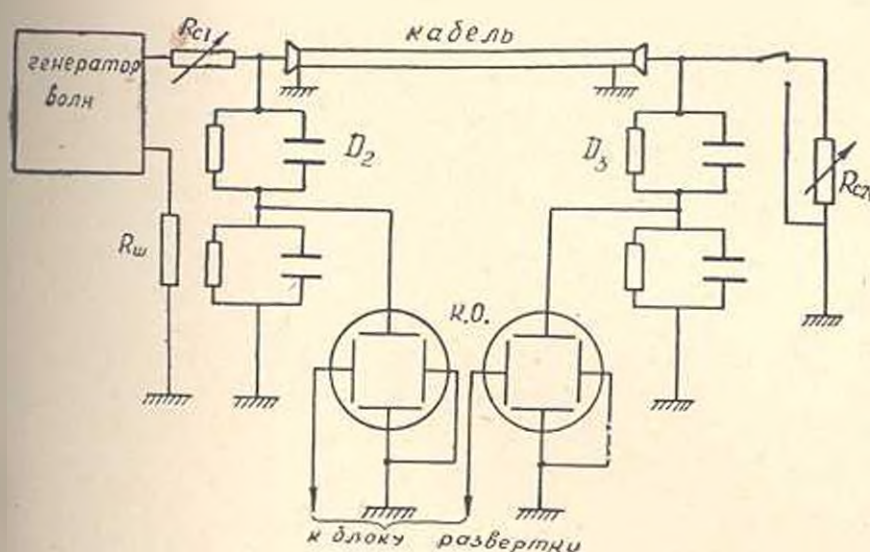


Рис. 12. Схема определения затухания и деформации волн.



Рис. 13. Осциллограмма волн напряжения в начале (1) и в конце (2) 3,0 км. кабеля, лежащего на земле, при параллельно-сослеженных четырех жилах.

В экранированном кабеле влияние сопротивления грунта отсутствует (сопротивление экрана незначительно, так как экран был шунтирован в нескольких местах). Затухание и деформация волны в кабеле, лежащем на земле (без экрана) в основном обуславливается величинами удельного сопротивления грунта ρ_z [5], волнового сопротивления кабеля Z_k и его длиной.

Затухание и деформация волны в экранированном кабеле и в кабеле без экрана, лежащем на земле, мало отличаются друг от друга. Характерно, что затухание и деформация волны в лежащем на земле кабеле без экрана, при одной заземленной жиле, уменьшаются. Это уменьшение происходит за счет того, что заземленная жила шунтирует сопротивление грунта. При поднятом 4-х жильном кабеле затухание и деформация волны минимальны за счет увеличения волнового сопротивления кабеля.

З а к л ю ч е н и е

Произведенные измерения при различных условиях работы кабеля показали, что волновые параметры небронированного кабеля сильно зависят от условий работы кабеля и по величине значительно отличаются от обычных бронированных кабелей. При срабатывании защитных аппаратов из-за атмосферного перенапряжения, реально возможным следует считать распространение волны при параллельном соединении всех жил кабеля, в случае полностью размотанного и лежащего на земле кабеля. При этом в качестве расчетных величин волновых параметров кабеля можно принять при параметрах волн:

$$t_{\phi} = 1,2 \div 2,8 \text{ мксек и } t_{\lambda} = 4,5 \div 40 \text{ мксек}$$

а) Волновое сопротивление $Z_k = 100 - 150 \text{ ом}$.

б) Средняя скорость распространения волны $V_{\text{ср}} = 90 - 100 \text{ м/мксек}$.

в) Коэффициент затухания амплитуды волны напряжения, полученный при напряжениях $U = 600 - 1000 \text{ вольт}$, для полностью размотанного кабеля $1,0 \text{ кв}$ длиной 135 м , не превосходит $\eta_k \leq 0,94$, а для кабеля $3,0 \text{ кв}$ длиной 500 м $\eta_k \leq 0,64$.

г) Коэффициент деформации фронта волны, при тех же условиях не превосходит $K_k \leq 0,7 - 0,8$.

Автор считает своим долгом выразить глубокую благодарность проф. М. В. Костенко, проявившему большой интерес к настоящей работе и давшему ценные указания и советы, как при проведении работы, так и при обсуждении ее результатов.

Автор благодарен также доценту Н. А. Козыреву, инж. А. П. Сивкову и инж. Л. С. Кротману, проявившим большое внимание к работе и оказавшим помощь в проведении экспериментов и в технической обработке их результатов.

Лаборатория электротехники
АН Армянской ССР

Поступило 18 IX 1956

Մ. Մ. ԿԱՐԱԳԻՏՅԱՆ

ՀՐՋԻՆ ՏՆՂԱԿԱՅՈՒՄՆԵՐՈՒՄ ՕԳՏԱԳՈՐԾՎՈՂ ՃԿՈՒՆ
ԿԱՐՆԼՆԵՐԻ ԱՆՔԱՅԻՆ, ԻՆՈՒԹԱԳՐՆԵՐԸ

Ա մ փ ո փ ու մ

Էլեկտրականացված շրջիկ տեղակայումները հզոր պարզացումը, որոնք օգտագործվում են տարֆային արդյունաբերությունում, գյուղատնտեսությունում և շինարարությունում մեջ, խիստ առավել քաջում հիշյալ տեղակայումների էլեկտրական սարքավորումների անվտանգություն և անվթարություն հարցը նրանք տարիների շահագործման փորձը ցույց է տվել, որ այդ տեղակայումները ենթարկվում են միևնույնության գերարումները (կայծակի) ազդեցությունը, որի պատճառով շահագործումից դուրս են գալիս էլեկտրական սարքավորումները, Այդ պատճառով հիշյալ սարքավորումների կայծակից պաշտպանելու հարցը ամենակարևոր հարցերից մեկն է նրա շահագործման ընթացքում:

Շրջիկ էլեկտրական տեղակայումները կայծակից պաշտպանելու սխեման մշակելիս անհրաժեշտ է ունենալ նշված տեղակայումների էլեմենտների ալիքային բնութագրերը, որոնց մեջ կարևոր նշանակություն ունեն ան ալիք տեղակայումներում օգտագործվող առանց զրահի ճկուն կարելները ալիքային բնութագրերը, ինչպես օրինակ՝ կարելի ալիքային զիստալուծությունը Z_4 , էլեկտրամագնիսական ալիքի տարածման միջին արագությունը V_4 , էլեկտրամագնիսական ալիքի մարումը՝ T_4 և նրա ազատագումը K_4 , հիշյալ կարելները շահագործման ընթացքում կարող են աշխատել առերևույթ պայմաններում, որից կարող են խիստ փոփոխվել կարելի ալիքային պարամետրերը, ինչպես օրինակ՝ երբ գետինը խոնավ է (անձրևից նետ), կամ ունի տնարթուծություններ, որի պատճառով կարելն իր երկարությունը գետնի նետ շփում է մի քանի տեղում: Այդ իսկ պատճառով առանց զրահի կարելի ալիքային պարամետրերը որոշվել են կարելի հետևյալ պայմաններում.

ա) կարել—զրահավորված արհեստական ալյումինի էկրանով.

բ) կարել—առանց զրահի, գետնից բարձրացված 25—30 սմ.

գ) կարել—առանց զրահի, փոխած գետնի վրա:

Այդ երեք փորձերի տվյալները և են կարող լինիլ համապատասխանել իրական սեղ պայմանների տվյալներին, այլ նրանք ցույց կտան, թե ինչ պայմաններում կարող են փոփոխվել ալիքային պարամետրերը նրա շահագործման ընթացքում:

Նշվածում գետնից և են շրջիկ էլեկտրականացված տեղակայումներում օգտագործվող երկու տիպի 4×10 մմ² և $3 \times 2,5$ — $3 \times 1,0$ մմ² ճկուն կարելների (առանց զրահի) ալիքային բնութագրերը:

Չափումները ցույց են տվել, որ առանց զրահի կարելի ալիքային պարամետրերը մերը նշված պայմաններում փոփոխվում են մեծ սահմաններում և խիստ տարբերվում են զրահով կարելների ալիքային պարամետրերի չափից:

Միևնույնության գերարումների պատճառով, երբ աշխատում են պաշտպանի սարքավորումները, բարձր լարման ալիքի տարածման ներառվող

դեպք կարելի է ընդունել ալիքի տարածումը կարելի՝ դուգանեռ միացված չորս ֆիդերով, երբ կարելի ամբողջ երկարությամբ փոփոք է գետնի վրա: Այդ դեպքում կարելի ալիքային պարամետրերի հաշվային մեծությունները (երբ ալիքի պարամետրերն են $\lambda_c = 1,2-1,8$ մկ վրկ, $\lambda_a = 1,5-40$ մկ վրկ) կարելի է ընդունել:

ա) ալիքային դիմադրությունը $Z_k = 100-150$ օմ

բ) ալիքի տարածման միջին արագությունը $V_{\lambda k} = 90-100$ մ/մկ վրկ.

գ) լարման ալիքի մարման գործակիցը λ ի գերազանցում $\gamma_k \leq 0,94$ (1,0 կվ կարելի համար, երկարությունը 135 մ), $\gamma_k \leq 0,64$ (3,0 կվ կարելի համար, երկարությունը 500 մ).

դ) լարման ալիքի աղավաղման գործակիցը նույն պայմաններում λ ի գերազանցում $\lambda_k \leq 0,7-0,8$.

Լարման ալիքի մարման և աղավաղման գործակիցները որոշվել են $U = 600-1000$ վ լարման դեպքում:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Д. В. Разевиг, Электричество, № 5, 1948. Затухание волн в кабелях.
2. Отчет ЛПИ имени Калинина и Лаборатории электротехники АН Арм. ССР 1. Исследование волновых параметров кабелей и двигателя электротракторного агрегата. 2. Исследование перенапряжений на электротракторе и разработка схемы его грозозащиты. Ленинград, 1954 г.
3. Отчет ЛПИ им. Калинина. Разработка методики исследования и предварительные исследования волновых параметров электрических машин. Ленинград, 1954 г.
4. Л. Н. Сиротинский, Перенапряжения и защита от перенапряжений в электрических установках. Изд. ГЭИ, 1946 г.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Т. А. ШЕХОЯН

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЛИН ШЕНГАВИТСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Шенгавитское месторождение глин является наиболее крупным в районе города Еревана.

На базе этих глин в 1939 г. был построен кирпично-черепичный завод для удовлетворения нужд г. Еревана и ближайших районов в таких необходимых материалах, как кирпич, черепица, керамические трубы.

Однако, в течение всего периода эксплуатации завода, выпускаемая продукция была низкого качества, одной из причин которого была высокая чувствительность к сушке. Вопрос изучения данного сырья становится более актуальным, в связи с предстоящим пуском завода керамических труб. Состав и строение глин Шенгавитского месторождения и освещаются в настоящей статье.

Район Шенгавитского месторождения глин представляет собой равнину, сложенную аллювиальными отложениями, образование которых связано с существовавшим здесь когда то крупным водным бассейном.

В литологическом отношении по всей толще обоих участков можно отметить три основные разновидности:

1. Верхний, выходящий непосредственно на дневную поверхность, слой высокопластичной глины от темнокоричневого до темножелтого цвета.

2. Ниже залегает менее пластичная тощая глина светлой окраски, пыстого характера, с прослойками песка и галечника.

3. Подстилающим слоем является мелкозернистый песок, заключающий в себе гальку и галечный слой.

Для изучения строения глин Шенгавитского месторождения были отобраны три характерные пробы: две—пластичной разновидности и одна—тощей разновидности.

В табл. 1 приводятся данные химического анализа глин Шенгавитского месторождения. Как видно из таблицы, все три пробы имеют примерно одинаковый химический состав. Глины содержат повышенное количество окиси кальция. Судя по содержанию CO_2 большая часть окиси кальция присутствует в виде известняка. Содержание окиси железа и щелочей—высокое. Гранулометрический анализ проводил-

ся по методу Н. И. Горбунова [1]. Данные по гранулометрическому анализу приводятся в табл. 2.

Пробы I и II имеют примерно одинаковый гранулометрический состав. Количество коллоидной фракции доходит до 50%, вследствие чего они должны обладать повышенной чувствительностью к сушке. В этих пробах нелиловая фракция (меньше 0,01 мм) составляет 63,06—65,24%, а алевроитовая (0,1—0,01 мм)—15,9—14,48%. Следовательно структура алевро-нелиловая.

В пробе III нелиловая фракция составляет 47,7%, алевроитовая—20,8%, псаммитовая (больше 0,1 мм)—17,3%; следовательно структура псаммо-алевро-нелиловая.

Таблица 1

Химический состав

№ п/п	номер пробы	Содержание окислов в %										сумма	влажа	CO ₂
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	гипс				
1	I	51,67	16,01	6,85	7,48	3,23	2,51	2,81	0,11	9,86	100,56	6,61	1,46	
2	II	51,00	17,46	7,01	6,36	3,57	2,81	3,27	0,12	8,91	100,58	7,03	3,74	
3	III	53,84	16,41	7,20	6,28	2,96	2,89	2,85	0,18	8,10	100,71	4,55	3,26	

Таблица 2

Гранулометрический состав

№ п/п	Помер пробы	Размер частиц в мм								потеря (карбона- ты + ме- ланич.) в %
		1—0,25	0,25—0,1	0,1—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	Меньше 0,001		сумма	
							до раз- мн.	после размн.		
1	I	1,41	3,57	15,09	6,21	8,38	46,93	1,54	83,13	16,84
2	II	0,61	3,60	14,48	5,77	8,71	49,75	1,01	83,93	16,02
3	III	1,90	15,39	20,88	5,79	8,34	26,96	6,61	85,81	14,15

Минералогическое исследование фракции меньше 0,01 мм показало, что основными породообразующими минералами глин Шенгавитского месторождения являются глинистые минералы; бейделит и гидрослюда.

Проба I, в основном, состоит из гидрослюда типа часов-ярской глины, образовавшейся за счет изменения мусковита.

При действии метиленовым голубым красителем, суспензия окрашивается в фиолетовый цвет, который при добавке KCl становится бирюзово-голубым. При этом наблюдается серовато-зеленый оттенок, что говорит о присутствии в породе, как органического вещества, так и в незначительном количестве минерала бейделита.

Под микроскопом агрегаты гидрослюда имеют, в основном, уд-

линенную форму с плохо выраженными линиями спайности; показатель преломления варьирует от 1,550 до 1,559.

Пробы II и III, в основном, состоят из минерала бейделита.

Показатель преломления агрегатов бейделита 1,552—1,560. Форма чешуек, в основном, изометрическая, иногда более удлиненная с неровными очертаниями. Чешуйки изотропны или слабо анизотропны.

Бейделит образовался за счет изменения гидрослюда часов-ярского типа, о чем свидетельствуют наблюдаемые под микроскопом измененные чешуйки гидрослюда. Встречаются также редкие зерна каолинита и мусковита.

Чешуйки мусковита совершенно анизотропны с показателем преломления 1,559—1,600.

В пробе II очень редко встречаются чешуйки разбухающего бейделита.

Во фракции 0,25—0,01 мм всех проб обнаружены следующие минералы (в порядке убывания): плагиоклазы, кварц, кальцит, магнетит, гиперстен, иллит, хлорит, диопсид, лимонит, гематит, глаукофан, обыкновенная и базальтическая разновидности роговой обманки, биотит, серпентин, циркон, доломит и вулканическое стекло.

Наряду с минерало-петрографическим исследованием глин Шенгавитского месторождения был проведен комплексный термoанализ.

Скорость подъема температуры 7,4—8°/мин.

На рис. 1 и 2 приведены кривые нагревания, обезвоживания и усадки проб глин шенгавитского месторождения*.

Кривые по пробам I и II характеризуются четырьмя эндотерм-

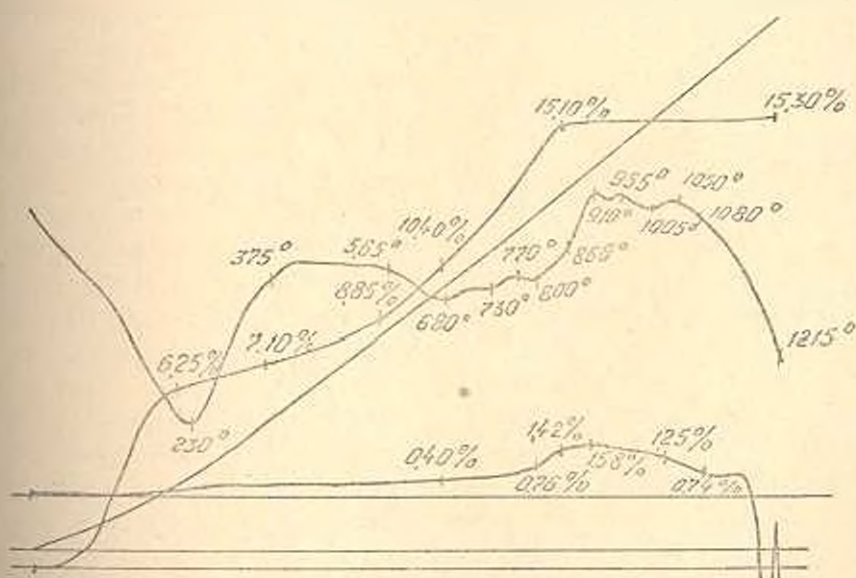


Рис. 1. Термограмма, кривые усадки и обезвоживания пробы I.

* На рис. 1 помещены кривые характеризующие пробу I; по пробе II кривые не приводятся в виду их идентичности.

ческими эффектами при 190—230°, 610—680°, 710—760°, 800—860°.

Первый эндотермический эффект соответствует удалению адсорбционной влаги. Размер пика указывает на гидрофильные свойства и высокую дисперсность. Второй эндотермический эффект при 610—680° можно отнести за счет присутствия гидрослюда. Третий и четвертый эндотермические эффекты в интервале температур 730—760° и 800—860° соответствуют удалению воды из кристаллической решетки монтмориллонита и разрушению кристаллической структуры. Непосредственный переход последнего эндотермического эффекта в небольшой экзотермический при 870—910° является характерным как для гидрослюда, так и для минералов монтмориллонитовой группы и объясняется образованием нового кристаллического вещества. В разновидностях I и II присутствует также карбонат кальция, эффект диссоциации которого сливается с эндотермическим эффектом разрушения кристаллической решетки монтмориллонита. На присутствие кальцита указывает возвращение кривой к нулевой линии после эндотермического эффекта при 800—860° и некоторое повышение дифференциальной записи над нулевой линией после эффекта. Понижение температуры диссоциации по сравнению с чистым кальцитом объясняется небольшим содержанием кальцита в смеси [2]. Согласно последним исследованиям А. И. Цветкова [3] это понижение температуры объясняется уменьшением парциального давления CO_2 при разбавлении карбонатов.

Исходя из термических характеристик можно заключить, что основными минералами проб I и II являются монтмориллонит и гидрослюда, причем последняя присутствует в подчиненном количестве.

Кривая нагревания пробы III характеризуется тремя эндотермическими эффектами при температурах 170°, 560° и 830°.

Величина первого эндотермического эффекта пробы III меньше, чем проб I и II, что указывает на меньшее содержание адсорбционной влаги и меньшую дисперсность. Вторым и третьим эндотермическими эффектами соответствуют удалению конституционной влаги и разрушению кристаллической решетки минералов монтмориллонитовой группы. Экзотермический эффект при 875° соответствует образованию нового кристаллического вещества и его можно объяснить присутствием гидрослюда и минералов монтмориллонитовой группы. Эффект диссоциации карбоната кальция сливается с третьим эндотермическим эффектом.

Судя по характеру кривой, доминирующим минералом является минерал группы монтмориллонита — бейделит, термограмма которого отличается от термограммы монтмориллонита меньшим количеством адсорбированной влаги и более низкой температурой второй эндотермической реакции.

Кривые обезвоживания всех проб аналогичны. Согласно этим кривым, удаление влаги протекает непрерывно, но с переменной скоростью. До температуры 230° происходит удаление адсорбированной

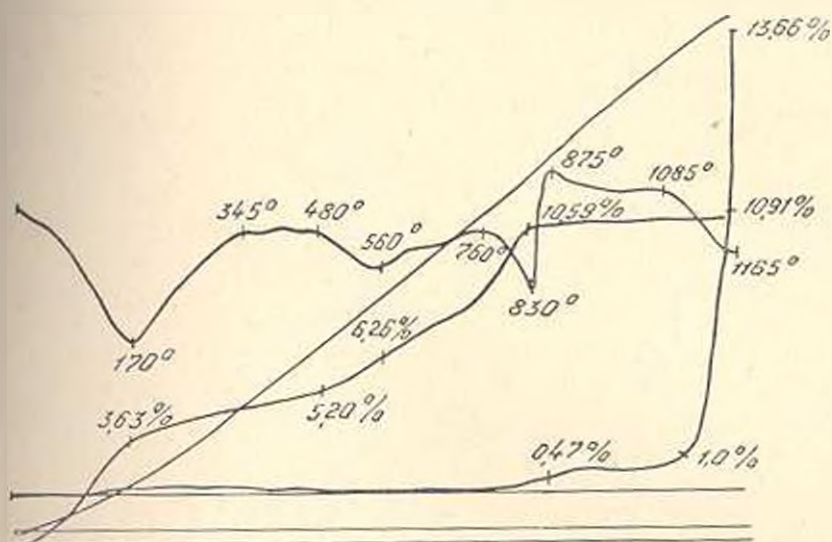


Рис. 2. Термограмма, кривые усадки и обезвоживания пробы III.

влаги. Затем начинается выделение межпакетной конституционной влаги, продолжающееся до температуры 800° .

Характер кривых обезвоживания соответствует характеру кривой обезвоживания минералов монтмориллонитовой группы. Участок кривой, соответствующий наибольшей скорости выделения конституционной влаги несколько сдвинут в область более высоких температур, что можно объяснить наличием карбоната кальция и его диссоциацией.

Дилатометрические кривые проб I и II одинаковы.

При температуре $170-230^{\circ}$ происходит усадка ($0,5-0,7\%$), соответствующая удалению адсорбированной влаги, затем размеры образца почти не меняются до начала усадки спекания (800°). Низкая температура начала усадки спекания характерна для глины монтмориллонитовой группы [4]. При температуре выше 1000° начинается расширение образца, что можно объяснить наличием гидрослюда и кальцита, характеризующихся расширением при температуре $970-980^{\circ}$.

Дилатометрическая кривая пробы III имеет усадку сушки ($0,3\%$) при температуре удаления адсорбционной влаги. При температуре 830° дилатометрическая кривая показывает усадку спекания, которая незначительно увеличивается до температуры 1100° и затем происходит резкая усадка образца.

По характеру дилатометрических кривых можно заключить, что все пробы содержат минералы монтмориллонитовой группы и гидрослюда. Отсутствие на дилатометрической кривой скачка расширения при температуре 575° указывает на то, что глины содержат небольшое количество песка (меньше 10%).

Характерные данные рентгеноанализа приведены в табл. 3.

Таблица 3

Характерные линии рентгенограмм							
Проба I		Фракция меньше 0,01 мм пробы I (отмучивание)		Проба II		Проба III	
dÅ	I	dÅ	I	dÅ	I	dÅ	I
—	—	—	—	—	—	4,00	слаб.
—	—	3,58	сред.	—	—	3,53	—
2,30	сред.	2,27	слаб.	2,31	сред.	2,29	сильн.
1,77	—	—	—	1,78	—	1,78	средн.
1,69	оч. сл.	1,70	слаб.	1,70	оч. сл.	1,71	оч. сл.
1,65	слаб.	1,66	—	1,67	слаб.	1,66	слаб.
1,49	сильн.	1,48	сильн.	1,50	сильн.	1,49	сильн.
1,24	слаб.	1,24	слаб.	1,23	слаб.	1,25	слаб.

Наряду с тремя пробами, рентгенографически исследовались также фракция меньше 0,01 мм пробы I. Наличие линий: 1,66—1,68, 1,49—1,51 и 1,24—1,26Å подтверждает присутствие минералов монтмориллонитовой группы. В пробе III имеется также и линия с 4,00Å слабой интенсивности, характерная для монтмориллонита.

Из линий других глинистых минералов имеются линии каолинита: 2,30—2,35, 1,77—1,78Å.

Во фракции меньше 0,01 мм имеется также и линия 3,58Å средней интенсивности, характерная для каолинита. Ослабление интенсивности линии обусловлено незначительным содержанием каолинита.

Наличие гидрослюд по рентгенограммам определить трудно, так как, в зависимости от происхождения гидрослюда и от стадии разложения, полученные рентгенограммы могут иметь сходство с одной из рентгенограмм слюды, каолинита и монтмориллонита.

Конструкция камеры не позволила определить линии с d большим, чем 4,55Å, поэтому нельзя на данной стадии с уверенностью утверждать о преобладании того или иного минерала, так как отсутствуют такие наиболее характерные линии, как 14—17Å для монтмориллонита, 10,1Å для монотермита и 7,01—7,10Å для каолинита.

Емкость обмена является одной из характерных величин для глинистых минералов.

Исследование состава обменных катионов для глины Шенгавитского месторождения дало следующие результаты:

для пробы I — Na — 5,4 мг экв, Mg — 17,03 мг экв
Ca — 8,71 на 100 г глины;

для пробы II—Na — 8,6 мг экв, Mg — 15,6 мг экв,
Ca — 8,12 „ на 100 г глины;
для пробы III—Na — 7,5 мг экв, Mg — 13,00 мг экв,
Ca — 10,62 „ на 100 г глины.

Общая емкость обмена составляет 31—32 мг экв на 100 г глины, что, в основном, соответствует емкости обмена для большинства гидрослюдистых глин.

В ы в о д ы

На основании исследования физико-химических свойств глин Шенгавитского месторождения можно сделать следующие выводы: глины относятся к легкоплавким, кирпичным, с высоким содержанием коллоидной фракции.

Структура глин алевро-пелитовая и псаммо-алевро-пелитовая. Основными породообразующими минералами являются минералы группы монтмориллонита и гидрослюды. Подчиненным минералом является доломит.

Минералогический состав глин обуславливает их высокую чувствительность к сушке и подтверждает необходимость внедрения отощающих добавок, как наиболее эффективных.

Последний вопрос будет освещен в следующем нашем сообщении.

Институт Стройматериалов и сооружений
АН Армянской ССР

Поступило 15. XI. 1966 г.

Р. А. СЕБЕНГАК

ՇԵՆԳԱՎԻՏԻ ԿԱՎՆՐԻ ՖԻԶԻԿԱՔԻՄԻԱԿԱՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Ա մ ֆ ո փ ու մ

Շենգավիթի կավանքը, երևանի առանձին գտնվող առևտրաշար ֆակտիքի մեկն է նրա բազալի հիման վրա 1939 թ. կառուցվում է աղյուսի-կոնկրետի գործարան, որը բավարարելու էր ինչպես երևանի, այնպես է նրան մոտիկ բնակավայրերի տնտեսական կարիքները աղյուսի, կրկ-միկոնի և այլ կավային իրերի բնագավառում:

Այդ կավանքի տրդունավետ շահագործման տնտեսական թյունը թերադրում էր մեր ջիւնիս աղյուսի յամբ ուսումնասիրութուններ կատարելու Մեր կրկից Շենգավիթի կավերի բազադրության և կավաւթյան ուսումնասիրութունները կատարվել են պետութրաֆիկ, կամպիքս ջերմալին և անկնողրաֆիկ տնայիզների կիրառման միջոցով:

Այդ կավանքի լրիվ բնութագրերը ստանալու նպատակով վերցվում է եղել 3 տեսակի նմանատուներ՝ երկուսը պատտիկ և մեկը վոլոտ ասրառուսի: Երկր հանքանմաւներն էլ մատարապիս նույն քիմիա-

կան կազմությանն ունենւոյրանց դրանուլումիւրիկ անալիզը կատարված է Ն. Ի. Գորբունովի եղանակով:

Պլաստիկ տարատեսակները ունեն մոտավորապէս միասնական գրանւլոմետրիկ կազմ: Կոյուքային ֆրակցիայի քանակը նրանց մէջ հասնում է մինչև 50%, որի հետեանքով այլ տարատեսակները չորացման շանդիկ պիտք է ունենան բարձր զդայնութուն:

Վտիտ տարատեսակի մէջ կոյուքային ֆրակցիայի քանակը հասնում է մինչև 30%: Այն ֆրակցիայի, որը 0,01 մմ պակաս է, միներոլոգիական ուսումնասիրութիւնը ցույց տվեց, որ ներդաւիթի կալաշանքի հանքատեսակի հիմնական միներալը հանդիսանում է կոյուքային միներալները՝ բեյդոլիտը և հիգրոֆայալը: Բեյդոլիտը առաջացել է Չասով-յաւրի փոփոխութեան հիգրոֆայալի վերափոխումից, որի մասին վկայում է մանրադիտակի տակ կատարվող դիտումները՝ հիգրոֆայալի թելուկների եզրի փոփոխումները:

Կծկման, քրազրկման և քերմացման կորերը ցույց են տալիս, որ բոլոր փորձանմուշների գերակշռող միներալը հանդիսանում է մոնոմորֆիկ տի խմբի միներալները: Բոլոր փորձանմուշների սենտզենադրամաները վրա տրտահալովել են, ինչպէս մոնոմորֆիկ տի ալիպէս և կալիքիթի գծերը:

Այսպիսով այլ կալիքի միներալային կազմը պայմանավորված է նրանց բարձր զգացողութեամբ չորացման նկատմամբ և հաստատում է վերջիններիս մէջ անպարտալին հավելցուկի մոտեման՝ ինչպէս ամենաարդիւնավետի, անհրաժեշտութիւնը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Н. И. Горбунев. Методика разделения почвы и глины на фракции для рентгенографического и термографического изучения. „Почвоведение“, № 7, 1950.
2. Н. И. Горбунев и Е. Н. Шурыгина. Кривые нагревания минералов, встречающихся в почвах и породах. „Почвоведение“, № 6, 1950.
3. А. И. Цвётков. Термодинамические характеристики безводных карбонатов. Труды Института геологических наук, вып. 103, петрографическая серия 30, 1949.
4. В. С. Фадеева. К вопросу о термодинамике основных минералов глины и их неистинных смесей. Труды НИИ Стройкерамики № 8, Промстройиздат, 1953.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В. О. СААКЯН

ВУЛКАНИЧЕСКИЕ ШЛАКИ КАК ЗАПОЛНИТЕЛИ ДЛЯ
 ЛЕГКИХ БЕТОНОВ

Одним из видов естественных пористых легких заполнителей являются вулканические шлаки (1, 2, 3).

Вулканические шлаки представляют собой пористую, пузырчатую породу вулканического происхождения.

Месторождения вулканических шлаков в Армянской ССР имеются в Аванском, Аринджском, Аштарацком (Егвардский и Ошаканский карьеры), Ахтинском, Басяргечарском, Горисском, Джермукском, Маритинском, Октемберянском, Нор Баязетском, Севанском, Сисианском, Татевском, Талинском (Кармрашенский карьер), Шамирамском и др. районах. В настоящей статье приводятся результаты исследования вулканических шлаков Аванского, Аринджского и Джермукского месторождений. Каждая проба вулканического шлака в естественном состоянии подвергалась рассеву на песок и щебень, путем пропуска через сито диаметром отверстий в 5 мм. Устанавливался процент содержания вулканического песка и количество щебня в шлаковом балласте. Основные физические показатели исследованных вулканических шлаковых песков приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные физические показатели шлаковых песков

Показатели	Месторождения		
	Аванское	Аринджское	Джермукское
Цвет	черный	красный	коричневый
Объемный вес в сухом состоянии в т/м^3	1,07	0,89	0,98
Удельный вес в порошкообразном состоянии	2,7	2,66	2,6
Суммарный объем пор шлакового песка в $\%$	60,0	66,0	62,0
Средняя крупность зерен в мм	—	0,40	0,56

Зерновой состав исследованных шлаковых песков приводится на рис. 1. Как видно из рис. 1 вулканические шлаковые пески Аринджского и Джермукского месторождений содержали в себе до 21% мелких пылевидных частиц с размерами менее 0,15 мм. При использовании вулканических шлаков в качестве мелкого заполнителя эти

частицы в легких бетонах играют роль гидравлических добавок и уплотнителя.

Шлаковый песок Аванского месторождения содержит незначительное количество пылевидных частиц. В связи с этим в дальнейших опытах в качестве уплотняющей добавки в составах бетонов на шлаковом песке Аванского месторождения была введена каменная мука, образующаяся при механической обработке Аванского туфа на камнефрезерных станках.

Каменная мука из туфа имела следующие характеристики:

Объемный вес в сухом состоянии... 1,1 т/м³; проход через сито с диаметром отверстий 1 мм — 100%; ≤ 900 отв/см² — 62,5%; и 4900 отв/см² — 38,1%.

По зерновому составу шлаковые пески Аринджского месторождения относились к мелким пескам, пески Аванского месторождения и Джермукского месторождения к стандартным пескам.

Пылевидное составляющее вулканического шлака уплотняет структуру бетона и придает удобоформируемость бетонной смеси.

В таблице 2 приводятся основные физические показатели вулканического шлакового щебня Аринджского, Аванского и Джермукского месторождений.

Как видно из табл. 2 шлаковый щебень из вулканической породы Джермукского месторождения обладает несколько большим объемным весом и соответственно ему меньшим объемом пустот, чем шлаковый щебень Аринджского и Аванского месторождений.

Зерновой состав использованных в опытах шлаковых щебней из вулканических пород Аринджского, Аванского и Джермукского месторождений приводятся на рис. 2.

Как видно из рис. 2, кривая зернового состава Джермукского шлакового щебня попадает в зону стандартного (оптимального состава) щебня, а у Аринджского выходит за пределы мелкого щебня; для Аванского щебня кривая находится в зоне, допускаемой стандартом.

Необходимо отметить, что в отличие от щебня Джермукского месторождения, шлаковый щебень Аринджского, и в особенности Аванского месторождения, имеют более развитую поверхность в силу крупнопористости породы. Это обстоятельство с одной стороны влияет благоприятно на повышение прочности бетона, в основном, в связи с

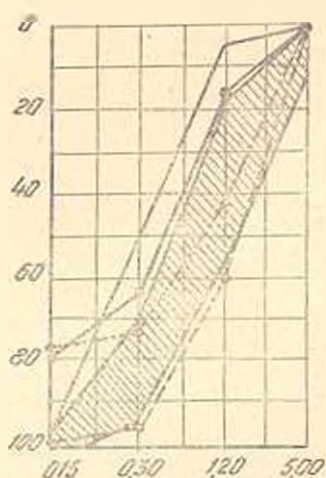


Рис. 1. Кривая зернового состава вулканических шлаковых песков. По оси абсцисс приводятся размеры отверстий сит в мм; по оси ординат — полные остатки на ситах в %. Сплошная линия относится к Аринджскому шлаковому песку; штрих-пунктирные — к Джермукскому, а пунктирные — к Аванскому шлаковому песку.

Таблица 2

Основные физические показатели шлаковых щебней

Показатели	Месторождения		
	Аванский	Аринджский	Джермукский
Цвет	черный	красный	коричневый
Объемный вес $\tau/\text{м}^3$	0,63	0,68	0,74
Удельный вес в порошкообразном состоянии	2,7	2,66	2,6
Объем пустот в %	49	53	46
Водопоглощение по песу в %	22	19	—
Количество щебня в шлаке в естественном состоянии в %	48	72	64

увеличением поверхности контакта между цементным тестом и заполнителем, с другой стороны приводит к увеличению расхода вяжущего при получении бетона с требуемыми качествами.

В табл. 3 приведены результаты испытания на сжатие и на морозостойкость вулканических шлаковых камней исследованных месторождений. Испытанные образцы имели форму цилиндра высотой и диаметром 14 см. Образцы испытывались на морозостойкость при -20°C в водонасыщенном состоянии.

Как видно из табл. 3 прочность вулканических шлаков существенно зависит от пористости и объемного веса породы. Соответственно, с увеличением пористости снижается как прочность при сжатии, так и объемный вес шлакового камня.

Основным критерием для оценки заполнителей является проверка их прочности в бетоне. Для опытов были приготовлены легкие бетоны на вулканическом песке естественном и дробленном вулканическом шлаковом щебне.

Проектирование состава новых видов легких бетонов на вулканических шлаках производилось путем технологического подбора при различных расходах портландцемента.

В исследуемых видах легких бетонов на вулканических шлаках, в качестве вяжущего был принят цемент Араратского завода, с активностью 347 кг/см и с содержанием 25,5% пемзовой муки (заводского

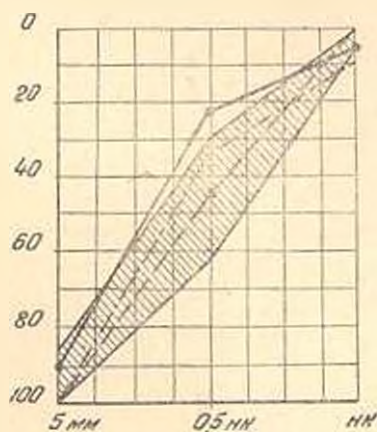


Рис. 2. Кривая зернового состава вулканических шлаковых щебней. По оси абсцисс приводятся наибольшая крупность (ИК); по оси ординат — полные остатки на ситах в %.

Сплошная линия относится к щебню Аринджского месторождения; пунктирная — к щебню Аванского месторождения; Штрих-пунктирная — к щебню Джермукского месторождения.

Таблица 3

Результаты испытания на сжатие и на морозостойкость вулканических шлаковых камней Аринджского, Джермукского и Аванского месторождений

Месторождения	Пределы прочности, коэффициенты					Средн. об- емн. вес в т/м³
	в сухом сост.	Во влажн. сост.	после 50 цикл. замор.	размягче- ние	морозост.	
Мелкопористый (плотный) шлак Аринджского месторождения	504	528	369	1,05	0,70	1,83
Крупнопористый шлак Аринджск. месторождения	214	115	158	0,47	1,37	1,01
Шлаковый камень Джермукского месторождения	265	232	193	0,88	0,81	1,29
Шлаковый камень Аванского месторождения	297	287	263	0,97	0,92	1,10

приготовления). В качестве активной добавки было принято известково-пемзовое вяжущее Анийского завода с активностью 47 кг/см² (в 28 дн. возрасте).

Удобоукладываемость, изученная по Б. Г. Скрамтаеву [4] принята равной 15—20 сек. Дозировка опытных замесов производилась по весу. Из каждого состава бетона были изготовлены 12 кубиков с размерами ребер в 10 см, 6 восьмерок, 6 призм размерами 10×10×30 и 6 балочек, с вибрационным уплотнением.

Образцы хранились в камере с температурой 20±2, с относительной влажностью 90—95% и испытывались кубики в 7, 28 и 90-дневных возрастах при сжатии. Остальные образцы были подвергнуты испытанию на растяжение, изгиб, кручение в 28 и 90-дневных возрастах, с определением соответствующих деформаций. Эти результаты в статье не приведены. Составы и объемные веса изученных бетонов на вулканических шлаках приводятся в табл. 4.

Анализ табличных данных показывает, что для получения одинаковой удобоукладываемости, водопотребность бетона на вулканическом шлаковом щебне в естественном состоянии больше, чем для бетона на дробленном щебне: при применении дробленного щебня расход песка и объемный вес бетона увеличивается. Опытная зависимость прочности бетона от расхода цемента 1 м³ приводится на рис. 3, 4 и 5. Предел прочности на сжатие определялся на кубиках с размерами ребер в 10 см.

Как видно из рис. 3 пределы прочности бетона при сжатии для Аринджского вулканического шлака в естественном состоянии резко отличаются от полученных результатов после дробления щебня, в возрасте 7 и 28 дней. Для бетона на Аринджском шлаке в естествен-

Таблица 4

Составы и объемные веса легкого бетона на вулканических шлаках

Крупный заполн. и сост.	№ со- стап.	Расход материалов на 1 м³ бетона					Об. вес свеж. бетона кг/м	Кэффци. выхода бетона
		цем.	пес.	щеб.	доб.	вода		

Бетон на вулканическом шлаке Аринджского месторождения

Вулканический шлак в естест- венном состоя- нии	1	250	500	875	—	315	1550	0,63
	2	320	514	900	—	330	1680	0,60
	3	414	460	818	—	320	1670	0,62

Вулканический шлак в дроблен- ном состоянии	4	260	515	860	—	309	1660	0,63
	5	303	553	765	—	313	1700	0,64
	6	414	528	760	—	315	1770	0,61

Бетон на вулканическом шлаке Джермукского месторождения

Вулканич. шлак в естественном со- стоянии	1	260	503	957	—	356	1766	0,63
	2	311	473	858	—	375	1774	0,63

Вулканич. шлак в дробленном со- стоянии	3	210	492	988	—	360	1685	0,61
	4	300	437	874	—	345	1725	0,64
	5	400	403	807	—	310	1730	0,65

Бетон на вулканическом шлаке Аванского месторождения

Вулканический шлак в естест- венном состоя- нии	1	327	510	930	—	300	1730	
	2	257	516	921	103	315	1770*	
	3	250	520	835	115	325	1790*	
	4	256	515	900	77	308	1730**	

ном состоянии прочность бетона 7-дневного, возраста составляет 0,73, а 90-дневного—2,1 от прочности бетона в 28 дней.

Высокий прирост прочности в 90 дн. возрасте обусловлен особенностью характера твердения легкого бетона на Аринджском вулканическом шлаке.

В результате добавления каменной муки и Ангийского известково-пемзового вяжущего происходит повышение прочности легкого бетона на Аванском вулканическом шлаке (рис. 5): известково-пемзовое вяжущее содержит в себе негашеную гидравлическую известь играющую роль возбудителя твердения, эффект которого явно виден

* С добавкой каменной муки из Аванского туфа.

** С добавкой Ангийского известково-пемзового вяжущего.

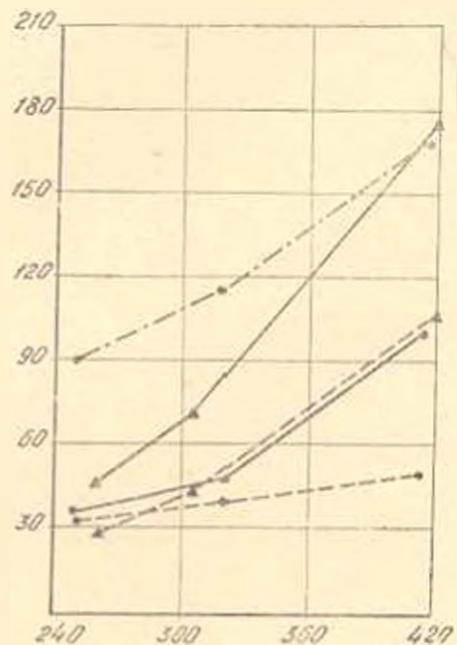


Рис. 3. Кривые прочности легкого бетона на Аринджском вулканическом шлаке; штрих-линия соответствует бетону в возрасте 7 дней; сплошная линия—28 дней, штрих — пунктирная — 90 дней; кружочки относятся к бетону на естественном шлаке, треугольники к бетону на дробленном шлаке.

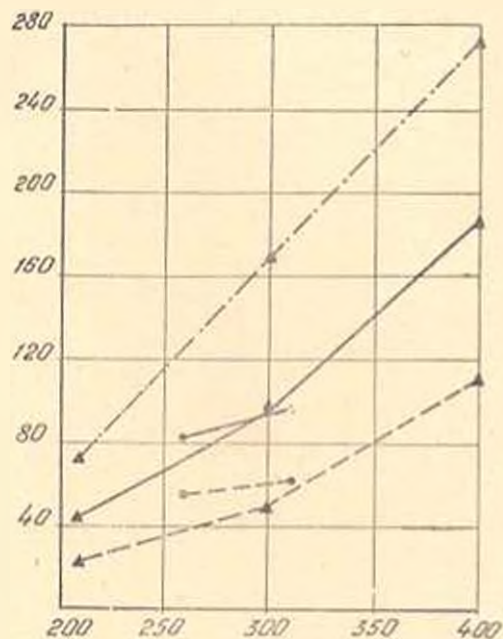


Рис. 4. Кривые прочности бетона, на Джержукском вулканическом шлаке, штрих-линия соответствует бетону в возрасте 7 дней, сплошная линия—28 дней, штрих-пунктирная—90 дней; кружочки относятся к бетону на естественном шлаке, треугольники к бетону на дробленном шлаке.

На графиках по оси абсцисс приводятся расходы цемента и добавки в кг/м^3 , по оси ординат пределы прочности при сжатии в кг/см^2 .

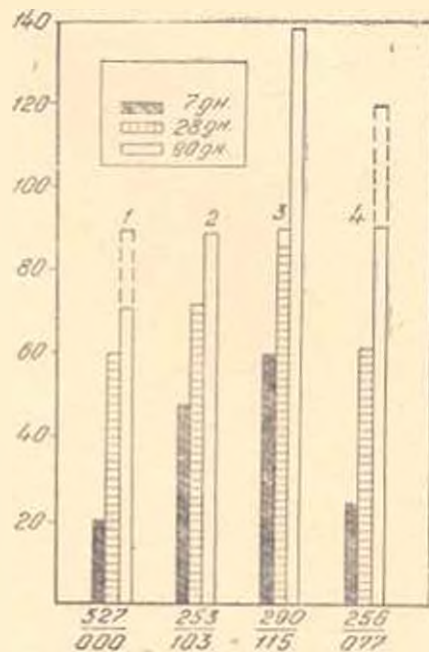


Рис. 5. График прочности легкого бетона на Аванском вулканическом шлаке. 1—бетон на портландцементе; 2 и 3—бетон с добавкой халлепной муки; 4—бетон с добавкой Аппинского цемента.

из результатов испытания состава № 1 на чистом цементе и № 4 с добавкой Ангийского цемента. При значительно низком расходе портландцемента в составе № 4, прочность бетона в 90-дневном возрасте на 20 кг/см² выше, чем у состава № 1. Это указывает на возможность экономии цемента [5].

Опыты показывают, что прочность бетона зависит от примененного месторождения вулканического шлака. Интенсивность роста прочности легких бетонов на вулканических шлаках с течением времени больше роста прочности обычного бетона.

Опыты эти показывают также, что дробление заполнителей из вулканических шлаков приводит к повышению прочности бетонов по сравнению бетонами, изготовленными на тех же заполнителях в естественном состоянии.

Полученные результаты испытаний на сжатие легких бетонов на вулканических шлаках позволяют наметить расходы цемента для получения бетонов тех или иных марок с учетом прироста прочности во времени.

В табл. 5 на основании опытов приводится зависимость марки бетона на вулканических шлаках от расхода портландцемента и возраста бетона в 28 и 90 дней.

Таблица 5

Зависимость марки бетона на вулканических шлаках от расхода портландцемента активностью 347 кг/см при возрасте бетона 28 и 90 дней

Вид заполнителя и месторождение вулканического шлака	Расход цемента на 1 м ³ и кг при марке бетона					
	35	50	75	100	150	200

Маркировка бетона в 28 дн. возрасте

Амударьжского месторождения в естественном состоянии	250	320	350	415	—	—
Тоже в дробленном состоянии	—	260	300	360	420	580
Джериукского месторождения в дробленном состоянии	—	210	231	310	360	420
Аванского месторождения в естественном состоянии	190	270	410	—	—	—
Тоже в дробленном состоянии	—	177	217	266	316	—

Маркировка бетона в 90 дн. возрасте

Амударьжского месторождения в естественном состоянии	105	150	207	294	—	—
Джериукского месторождения в дробленном состоянии	—	144	210	240	280	330
Аванского месторождения в естественном состоянии	125	180	270	360	—	—
Тоже в дробленном состоянии	—	145	217	266	316	—

Как видно из табл. 5 расход цемента для получения одной и той же марки бетона существенно уменьшается при применении дробленого крупного заполнителя из вулканических шлаков. Например, для получения бетона марки „50“ на Ариджском шлаке в дробленном состоянии, расход цемента уменьшается на 60 кг по сравнению с тем же бетоном на естественном шлаке того же месторождения. Отметим, что при дроблении шлака особенно шлакодробилках, происходит измельчение слабых зерен шлаков. В результате этого происходит относительное увеличение прочных частиц и заполнителя. Анализ данных таблицы 5 показывает, что для экономии цемента целесообразно марки бетонов на изученных вулканических шлаках назначить в возрасте 90 дней.

В 1951—52 гг. автором на основании изучения вулканического шлака Сисианского месторождения для строительства Дастакертского комбината цветных металлов были рекомендованы к применению легкие бетоны на вулканических шлаках. Бетоны на вулканическом шлаке Ариджского месторождения применены строительством № 165 (шахта № 1), строительством комбината шампанских вин и СМУ № 160. Бетоны на вулканическом шлаке Джермукского месторождения применяются на строительстве Джермукского курорта.

Кроме того вулканический шлак Джермукского месторождения в Джермуке используется и в качестве заполнителя в кладочных растворах.

В 1955 г. был рекомендован строительству солерудника к применению бетон на вулканическом шлаке Аванского месторождения.

Кроме этого, по рекомендации автора на строительстве Дастакертского комбината цветных металлов в 1951—52 гг. применены легкие бетоны на вулканическом шлаке Сисианского месторождения для стеновых блоков.

Таким образом, путем изучения основных характеристик вулканических шлаковых песков и щебней выявлена возможность наряду с обычными кварцевыми и легкими песками и щебнями рекомендовать к применению в бетонах и растворах также шлаковые пески и щебни Ариджского, Джермукского и Аванского месторождений в качестве мелкого и крупного заполнителя. Произведенные экспериментальные исследования и опыт строительства показали пригодность вулканических шлаков в качестве заполнителя для получения легкого бетона. В связи с этим в Армянской ССР легкий бетон на вулканических шлаках должен найти более широкое применение в бетонных и железобетонных конструкциях.

Институт стройматериалов
и сооружений АН Армянской ССР

Поступило 15 I 1955

Վ. Ն. ՍԱՀԱԿՅԱՆ

ՀՐԱՐԽԱՅԻՆ ՇԼԱՔՆԵՐԸ ՈՐՊԵՍ ԹԵԹԵՎ ԲԵՏՈՆԻ ԼՅՈՉ

Ա. մ. փ. ո. փ. ո. մ.

Հրաբխային շլաքները իրենցից ներկայացնում են ծակոտիկն լեռնային սղար, հանքաքայքերը Հոյկական ՄՄԽ-ում տարածված են Կոսայքի (Ավանի և Արինջի հանքերում), Աշտարակի (Նոյմարգի և Օշականի հանքերում), Ախտայի, Բասարգեչարի, Գորիսի, Ջերմուկի, Մարառենի, Հոկաժերեյանի, Նոր Թայագետի, Սեանի (Լճաշենի հանքում), Սրբիանի, Տաթևի, Թալինի (Կարմրաշենի հանքում), Շամիրումի և այլ շրջաններում:

Սույն հոգվածում բերվում են Ավանի, Արինջի և Ջերմուկի հանքաքայքերի հրաբխային շլաքների ուսումնասիրությունն արդյունքները:

Աղյուսակ 1 արված են հրաբխային շլաքների մազումից ստացած աճանքի հիմնական ֆիզիկական ցուցանիշները, իսկ նկ. 1 ցույց է տրվում այդ աճանքների հատիկային կազմը:

Ըստ հատիկային կազմի Արինջի և Ջերմուկի հանքաքայքերի շլաքային աճանքները իրենց մեջ պարունակում են 21⁰ չափով աճանքաձևի, որպես մանր լցիչ օգտագործելիս այդ փոշին, ունենալով հրաբխային ծագում, կանցիտանա որպես հիդրոփիկ հավելույթ, Ավանի հանքաքայքի հրաբխային շլաքի աճանքը իր մեջ աճանքի մոշի քիչ է պարունակում, այդ աճանքի լցիչ օգտագործելիս անհրաժեշտ է ափսոսանքի առաջ քաշի փոշի կամ այլ հիդրոփիկ հավելույթ, բևեռների գյուրաշարժությունը ապահովելու համար: Աղյուսակ 2 արված են հրաբխային շլաքների մազումից ստացած խճանքի հիմնական ֆիզիկական ցուցանիշները: Անհրաժեշտ է նշել, որ խտությունը Ջերմուկի հանքաքայքերի խճանք, Արինջի և Ավանի հանքաքայքերի խճանքը կտորները ունեն մակերևույթին ծակոտիկներ, որոնք մի կողմից մեծացնում են ցեմենտի հետ շաղկապման մակերեսը և մյուս կողմից ափսոսանքում ցեմենտի ծախսը: Նկ. 2 ցույց է տրվում Արինջի, Ավանի, Ջերմուկի հանքաքայքերի հրաբխաշլաքային խճանքի հատիկային կազմը:

Աղյուսակ 3 արված են վերոհիշյալ հանքաքայքերի հրաբխային շլաքաքարի սեղմման ամրությունը և ցրտադիմացկունությունն փորձարկումների արդյունքները ջրահանքած վիճակում: Ըստ ծակոտիկներով լեռնային փոփոխվում է շլաքաքարի ամրությունը և ծախսային կշիռը: Լցիչների հիմնական չափանիշն է նրանց ամրությունն փորձարկումը բևեռներում: Փորձերի համար պատրաստել ենք խեղճ բևեռներ հրաբխային շլաքների բնական և քարացած խճանքով:

Նոր խեղճ բևեռների կազմությունը նախազգված է հրաբխային շլաքների կիրառմամբ՝ ցեմենտի տարբեր ծախսերի զեպում: Ստանապիրման ենթակա բևեռներում որպես կապակցանյութ ընդունված է Արաբատի գործարանի հոյկական ցեմենտը և Անիի գործարանի կլապակցային կապակցանյութը: Բևեռնի խտությունը գյուրաշարժությունն ընդունված է 15—20 վայրկյան:

Ստանապիրված բևեռների կազմությունը և ծախսային կշիռները արված են աղյուսակ 4: Նույն գյուրաշարժությունը ստանալու համար հրաբխային շլաքները բնական վիճակում գործածելիս բևեռնի ջրալարու-

նակությունը բարձրանում է: Ջարգված հրաբխային շաքենքի խիճը գործածելիս ավազի ծախսը և բետոնի ծավալային կշիռը մեծանում են:

Քիտոնի ամրությունը կախված ցեմենտի ծախսից ցույց է արված նկ. 3, 4 և 5:

Ինչպես երևում է նկ. 3 Արխենի հրաբխային շաքով ստացած բետոնները, կախված խճի փճակից, նույն ցեմենտի քանակի դեպքում ունենում են տարրեր ամրություն: Հրաբխային շաքենքը բնական փճակում բետոններում պարձաձելիս ստացվում է բետոնի ցածր ամրություն, իսկ շաքենքի ջարդելուց հետո կիրառելիս բետոնի ամրությունը բարձրանում է:

Այս նոր բետոնների ամրությունը աճում է նույն չափով 7—28 և 28—90 օր. հասակներում, որը պայմանավորված է հրաբխային շաքովոջու ստեղծման հետ: Քիտոնը պատրաստելիս ցեմենտի և շաքովոջու խառնուրդը նրան տալիս է կարծրանալու լարատեսակ հատկություն: Սեմենտի չիլրոյիկի արդյունքը ֆիզիկա-քիմիական կապի մեջ մտնելով շաքովոջու հետ ավելի մեծ ուժով է շաղկապվում ավազի և խճի հետ, բետոնին տալով խիտ կառուցվածք:

Սեմենտի տնտեսման համար հաղվածում առաջարկվում է հրաբխային շաքենքով պատրաստված բետոնների մարկավորումը կատարել 90-օր. հասակում: Աղյուսակ 5 տրված է ցեմենտի ծախսը 28 և 90 օր հասակների համար բետոնը մարկավորելիս, նույն մարկայի բետոնը ստանալու համար ցեմենտի ծախսը զգալի կրճատվում է Ջարգված հրաբխային խիճ կիրառելիս:

Հեղինակի կողմից հրաբխային շաքենքի ուսումնասիրման հետևանքով 1951—53 թ. Դաստակերտի գունավոր մետաղների կոմբինատի կառույցներում կիրառված է հրաբխային շաքենքով պատրաստված բետոն: Նույնանուն բետոն է երառված № 161 շինարարությունում № 1 հորանք, երևանի շամպայն գինիների կոմբինատը և Ջերմուկ առողջարանը կառուցելիս, 1951 թ. սկսած: 1955 թ. շինարարությանը կիրառման հանձնվեց Ավանի հրաբխային շաքը, աղային ջանքերի և բնակ-ավանի կառույցներում:

Այսպիսով հրաբխային շաքենքի հիմնական հատկությունները ուսումնասիրելիս հայտնաբերված է նրանց կիրառման նախադրություններ:

Կատարած ուսումնասիրությունները և շինարարության փորձը ցույց են տալիս հրաբխային շաքենքի պիտանիությունը, թեթև բետոն ստանալու համար որպես լցիչ, այդ կապակցությամբ հրաբխային շաքենքով ստացված թեթև բետոնը պետք է լայն կիրառում ստանա բետոն և երկաթ-բետոն կոնստրուկցիաներում ու շինամասերում:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Заварицкий А. И. Начало русской вулканологии. Юбилейный сборник, посвященный 30-летию Великой социалистической революции, 1937, часть II.
2. Владовец В. И. Вулканы Советского Союза. 1939, М.
3. Туррель I. В. Вулканы. Перевод Е. П. Заварицкий. Изд. ОНТИ, 1934.
4. Скрамтаев Б. Г., Попов И. А., Герливанов Н. А., Мудров Г. Г. Строительные материалы. 1954, М.
5. Саакян В. О. О возможности частичной замены порландцемента Ангийским известково-пемзовым вяжущим в бетонах и строительных растворах. Известия АН Армянской ССР, № 6, 1956, Ереван.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

А. С. СОГОЯН

О НЕКОТОРЫХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ ДРЕВЕСИНЫ
ТОПОЛЯ

В климатических условиях Армянской ССР, наиболее перспективной породой, способной в относительно короткий срок дать деловую древесину, является тополь.

В Армении тополь возделывается с древнейших времен. Здесь произрастают некоторые виды тополя, не встречающиеся или весьма редкие в других областях Советского Союза. Таковы, описанные акад. А. А. Грозгейманом виды „грацилис“ (*Populus gracilis*), близкий к южно-европейскому виду „пирамидалис“ (*Populus pyramidalis*), своеобразный вид „шишкини“ (*Populus Schischkini*), образующий прекрасные прямоствольные деревья.

Тополь, уже в возрасте 15—20 лет является вполне пригодным строительным материалом. Применение тополя в строительстве в Армении имеет многовековую историю. О давности применения тополя в строительстве говорят раскопки Урартской крепости Тейшебани около Еревана (Кармир-Блур), относящейся к VII веку до нашей эры [1]. Раскопками было обнаружено, что часть перекрытия была сделана из тополивых балок.

Около 85% старых Ереванских домов перекрыты тополем лесом, а в сельских местностях Араратской долины почти все старые дома. Наблюдения показали, что тополивые балки перекрытий в этих домах, имеющих столетнюю давность, остались без заметных повреждений. В строительной практике Армении последних лет также имело место применение тополевого леса для несущих конструкций, для досок пола, для столярных изделий, в качестве опалубочного материала, а также в качестве лесов и подмостей. Учитывая, что древесина тополя может получить широкое применение в строительстве, возникла необходимость изучения ее механических и физических характеристик.

Нами были исследованы механические свойства следующих видов тополей:

1. Шишкини (*Populus Schischkini*).
2. Пирамидальный (*Populus pyramidalis*).
3. Боллеана (*Populus Bolleana*).

Выбор модельных деревьев и отбор кряжей производились по ОСТ-196 НКЛес.

В табл. 1 приведены данные о модельных деревьях.

Таблица 1

№№ п/п	Вид тополя	Место взятия деревьев	Кол-ч. дерев.	Возраст	Диаметр ствола
1	Шиншики	с. Дзак	6	40—45 лет	30—35 см
2	Пирамидальный	с. Паракар	6	20—25 лет	25—30 см
3	Болдсана	г. Ереван	5	15—17 лет	30—40 см

Изготовление образцов и их испытания производились по ГОСТ 6336—52. Были изучены следующие механические характеристики древесины.

1. Сжатие вдоль волокон.
2. Растяжение вдоль волокон.
3. Статический изгиб (поперечный).
4. Скалывание радиальное.
5. Торцовая твердость.

Сравнивая прочность различных характеристик древесины тополя с древесиной сосны мы видим, что больших расхождений нет (табл. 2).

Таблица 2

Наименование породы	Пределы прочности в кг/см ²				
	сжатие вдоль волокон	статиче- ский из- гиб	растяже- ние вдоль волокон	скалыва- ние вдоль волокон (радиаль- ное)	торцовая твер- дость
Тополь:					
а) Пирамидальный	440	750	919	56	271
б) Шиншики	397	670	833	46	258
в) Болдсана	382	562	716	42	237
Сосна*:					
а) Архангельская область	468	912	—	63	190
б) Европейская часть СССР	430	830	1086	67	130
в) Сибирь и Дальний Восток	390	712	776	62	145

Одновременно нами изучалась также деформативность древесины тополя.

Как известно [3] упругие деформации древесины при механических воздействиях (модуль упругости, коэффициент поперечной деформации) подчиняются общему закону изменения показателей механических свойств древесины в зависимости от влажности, а именно с увеличением влажности до точки насыщения волокон ($W=30\%$) они уменьшаются, а при увеличении влажности выше точки насыщения волокон показатели почти не изменяются.

* Данные взяты из каталога строительных материалов и изделий, раздел IV. Дерево, Академия архитектуры СССР, М., 1948.

Нами была исследована зависимость модуля упругости древесины тополя от влажности при сжатии вдоль волокон.

Влажность испытуемых образцов была в пределах от 6% до 70%.

Испытания производились на образцах в форме прямоугольной призмы с основанием 20×20 мм. и высотой—(вдоль волокон) 66 мм. Для измерения деформации на противоположных боковых сторонах образца устанавливались рычажные тензометры с базой 20 мм.

На основании полученных значений модулей упругости при разных влажностях древесины построен график, приведенный на фиг. 1.

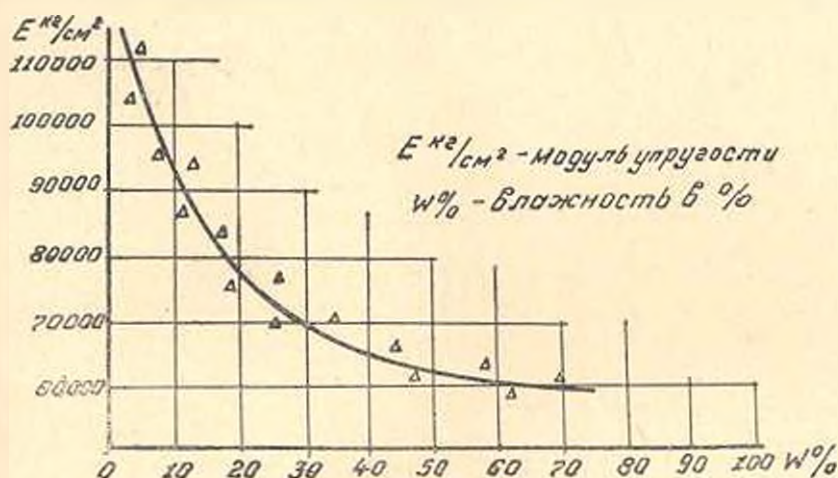


Рис. 1. Зависимость между модулем упругости древесины и влажностью.

Из которого видно, что с увеличением влажности модуль упругости древесины тополя заметно падает. Однако, начиная с некоторого процента влажности, которому соответствует точка насыщения волокон ($W = 30\%$), модуль упругости уменьшается незначительно. Подобные зависимости модуля упругости от влажности получены для древесины сосны Н. Л. Леонтьевым [3].

Как известно, существует связь между влажностью древесины и влажностью окружающего ее воздуха. Связь эта выражается в том, что в зависимости от влажности воздуха древесина приобретает ту или иную влажность. Это может происходить как в результате высыхания, так и в результате гигроскопического увлажнения древесины. Установлено, что при естественной сушке древесины скорость высыхания зависит от ряда факторов, а именно: от породы, от размера лесоматериала, а также от климатических условий [4].

Некоторыми авторами построены кривые наделения влажности древесины хвойного материала в различные месяцы года для некоторых районов Советского Союза [4].

Влажность древесины, соответствующая данной влажности окружающего ее воздуха, называется равновесной влажностью, которая при постоянной влажности воздуха остается постоянной. Обычно равнове-

ная влажность древесины в конструкциях меняется в незначительных пределах.

Нами построена кривая падения влажности древесины тополя во времени, при высыхании ее в естественных условиях. Кривая эта показана на фиг. 2, где W — влажность в $\%$; τ — время в днях.

Наблюдения за высыханием древесины тополя велись в летние месяцы (июль, август).

Образцы размерами $6 \times 10 \times 120$ см, с влажностью $W = 80\%$, были установлены на открытом воздухе под навесом. Через определенные промежутки времени определяли среднюю влажность в сечении образцов. По полученным данным построен график падения влажности древесины во времени в процессе высыхания, фиг. 2.

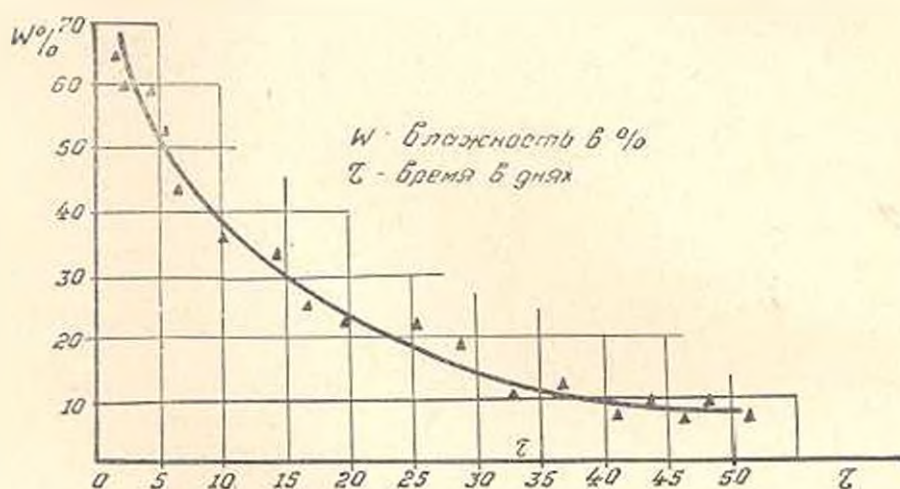


Рис. 2. Зависимость между влажностью древесины и временем ее высыхания.

Как видно из графика (фиг. 2), начиная с некоторого момента τ , изменение влажности древесины почти не происходит, что соответствует равновесной влажности.

На основе закона изменения модуля упругости древесины в зависимости от влажности (фиг. 1) и падения влажности древесины во времени (фиг. 2) получена кривая изменения модуля упругости древесины во времени при данном законе высыхания, которая приведена на фиг. 3, где E — модуль упругости, τ — время, которому соответствует определенный процент влажности древесины.

Как видно из графика, начиная с некоторого времени τ_1 , после которого влажность древесины не меняется, кривая идет почти параллельно оси времени, указывая на то, что с этого момента не происходит нарастания модуля упругости. Для деревянных конструкций, защищенных от атмосферных и других источников увлажнения равновесную влажность древесины, соответствующую моменту τ_1 , можно принять равной 15% .

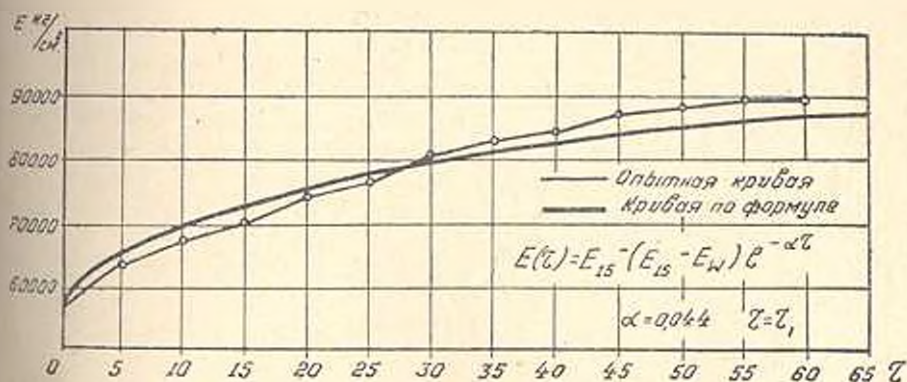


Рис. 3. Изменение модуля упругости во времени в результате высыхания древесины

Закон изменения модуля упругости древесины во времени $E(\tau)$ при ее высыхании можно представить уравнением вида:

$$E(\alpha) = E_{15} - (E_{15} - E_w) e^{-\alpha \tau}$$

где E_w — модуль упругости древесины к началу исследования, при $\tau=0$;

E_{15} — модуль упругости при 15% влажности древесины;

τ — время, которому соответствует определенный процент влажности древесины;

α — постоянная; в нашем случае для древесины тополя принята $\alpha = 0,044$.

Ереванский политехнический институт
имени К. Маркса

Поступило 15 XI 1956

Ա. Ս. ՍԱՂՍԱՆ

ԲԱՐԴՈՒ ԲՆԱՓԱՅՏԻ ՄԻ ՔԱՆԻ ՅՈՒՑԱՆԻՇՆԵՐԻ ՄԱՍԻՆ

Ա Վ Փ Ո Փ Ն Ա Վ

Հոդվածում տրված է մեր կլիմայական պայմաններում աճող բարդուրեղափայտ բնորոշությունները մեծ օգտագործելու լայն հնարավորությունների մասին: Այնուհետև բերված են նրա ամրություն ու դեֆորմացիոն հատկությունների փորձարկման արդյունքները, ինչպես և ժամանակի բնթայում ու բնական չորացման պայմաններում բարդուրեղ փայտանյութի փորձարկման արդյունքների փոփոխության օրինաչափությունը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Справочник по строительным материалам Армянской ССР. Институт строительных материалов и сооружений АН Арм. ССР, Ереван, 1948.
2. ГОСТ 6336—52.
3. Н. Л. Леонтьев. О влиянии влажности на механические деформации древесины. Информационный листок № 29. М.—Л., 1948.
4. С. Н. Валин. Древесиноведение. М.—Л., 1949.

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

Էջ

Հիդրավիկա

- Ա. Կ. Անանյան. Ընդլայնական ջրի հոսքի խնդրի մոտավոր լուծումը հոսանքային առանց ջրատար ուղիներում 3

Ինժեներական սեյսմոլոգիա

- Ր. Կ. Կարապետյան. Մասնական պայթեցումների ժամանակ ստացված սեյսմոմետրիկ դիտումների արդյունքները 21

Էլեկտրատեխնիկա

- Մ. Մ. Կարապետյան. Երկի սեղակայումներում ոգտագործվող ճեղքի կարելիքների արժեքներն բնութագրերը 33

Շինանյութեր

- Թ. Ա. Շևոյան. Շենդավորի կավերի ֆիզիկա-քիմիական հատկությունները 51
Վ. Հ. Սահակյան. Հրաբխային շիւքները որպես թեթև բետոնի լցիչ 59
Ա. Ս. Սողոմյան. Բարդու բնափայտի մի քանի ցուցանիշների մասին 69

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Гидравлика

- А. К. Ананян. Приближенное решение задачи о поперечной циркуляции и водо-воде треугольного сечения при изгибе потока 3

Инженерная сейсмология

- Б. К. Карапетян. Результаты сейсмометрических наблюдений при массовых взрывах 21

Электротехника

- В. Карапетян. Волновые характеристики гибких кабелей передвинжных установок 35

Строительные материалы

- Ե. Ե. Շեօյան. Ֆիզիկո-քիմիական հատկությունները Շենգանյանի տեղանքի գլին 51
Վ. Հ. Սահակյան. Հրաբխական շիւքները որպես թեթև բետոնի լցիչ 59
Ա. Ս. Սողոմյան. Որոշակի հատկություններ Երևանի տափաստի մի քանի ցուցանիշների մասին 69