

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՌ-ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ.
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ԽՐԱԴՐԱԿԱՆ ԿՈՒՆԵՐԻԱ

Աղանց Ն. Տ. (պատ. խմբագրի տեղ.), Անանյան Ա. Կ., Գրու-
պարյան Ա. Մ., Լիլիսպարյան Ի. Վ., Կասյան Մ. Վ., Խաչատրյան
Վ. Մ., Նազարով Ա. Գ. (պատ. խմբագրի), Սիմոնով Մ. Ջ.,
Փիճաջյան Վ. Վ. (պատ. ընթացակարգի)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Абонд Г. Т. (зам. отв. редактора), Аканян А. К., Гаспа-
рян А. М., Егиазаров Н. В., Касьян М. В., Назаров А. Г. (отв.
редактор), Линаджян В. В. (отв. секретарь), Симонов М. Э.,
Худавердян В. М.



Տնօրէնը Գ. Գ. Գրուպարյան
ՀԱՅԿԱՍՏԱՆԻ ԿՈՄՍՏԻՒՆԻ
ԿԵՆՏՐԱԿԱՆ ԿՈՒՆԵՐԻԱ
ԿՈՒՆԵՐԻԱ

Сдано в производство 27/VI 1957 г. Подписано к печати 14/VIII 1957 г. ВФ 07815
Заказ 271, изд. № 1448, тираж 600, 6,5 п. л.

Типография Издательства Академии наук Армянской ССР, Ереван, ул. Абовяна, 124

МЕТЕОРОЛОГИЯ

М. П. ТИМОФЕЕВ

ОБ ИССЛЕДОВАНИИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО
РЕЖИМА ОЗЕРА СЕВАН

Гидрометеорологический режим озера Севан исследовался в 1926—30 гг. гидрометеорологическим бюро, которое под руководством крупного гидролога В. К. Давыдова осуществило широкую программу научных работ. Результаты этих работ опубликованы в „Материалах по исследованию озера Севан и его бассейнах“, причем часть III этих исследований, в количестве 6 выпусков, посвящена описанию метеорологического режима озера Севан (осадки, снеговой покров, температура и влажность, ветер и т. д.). За 20—25 лет, прошедших со времени работ Севанского бюро, в гидрометеорологической науке, в особенности в метеорологии, получили значительное развитие новые методы исследования, которые, естественно, не могли ранее широко использоваться при изучении метеорологического режима озера Севан. Кроме того, за последнее время площадь зеркала озера значительно уменьшилась.

Учитывая народно-хозяйственное значение озера Севан, Главная Геофизическая Обсерватория им. А. Н. Воейкова по просьбе АН Армянской ССР (ВЭНИ) совместно с УГМС Армянской ССР провела в период с 5.VII по 5.VIII.1955 г. экспедиционные исследования метеорологического режима озера Севан. При этом особое внимание было обращено на использование метода теплового баланса с экспериментальным измерением важнейших его составляющих, диффузионного метода и аэрологических методов, с целью уточнения важнейших составляющих теплового баланса, в частности радиационного баланса, затраты тепла на испарение с поверхности озера.

§ 1. Метеорологический режим озера определяется процессом взаимодействия водной массы с воздухом. В этом процессе взаимодействия необходимо выделять следующие важнейшие стороны. Некоторые „начальные“ характеристики воздуха, не связанные с существованием озера (облачность, направление и скорость потока, температура, влажность и т. д.) создают общий „фон“ для физических процессов взаимодействия водной массы с окружающей воздушной средой. Под влиянием озера и особенностей окружающего озера рельефа, могут возникать различного рода местные циркуляции.

Кроме того, конечный результат взаимодействия водной массы с воздухом в значительной степени зависит от процесса перераспределения тепловой, и особенно, радиационной энергии на поверхности озера.

Для разных условий и различных водоемов роль каждого фактора в формировании метеорологического режима может быть неодинакова, а влияние метеорологических условий может быть существенно различным. Например, если водоем покрыт льдом и снегом, то влияние атмосферных условий на физические процессы, протекающие в водной массе, очень незначительное. Для безледоставного периода атмосферные условия, кроме процессов существенных для водной поверхности (осадки, испарение) оказывают непосредственное влияние на физические явления в водной массе, главным образом, в некотором деятельном поверхностном слое ее.

Озеро Севан обычно является незамерзающим водоемом, поэтому для него метеорологические условия имеют существенное значение в процессе формирования его гидрометеорологического режима.

Изложенные общие соображения в значительной степени определили основные вопросы, подлежащие исследованию, и комплекс наблюдений в период экспедиции, состоящий из двух разделов: метеорологические наблюдения и аэрологические наблюдения. Метеорологические наблюдения включали измерения составляющих радиационного баланса над водной поверхностью, градиентные изменения в приповерхностном слое (ветер, температура и влажность воздуха), наблюдения за изменчивостью метеорологических элементов по зеркалу озера.

Аэрологические наблюдения состояли из шаропилотных (обычные шаропилотные наблюдения и наблюдения за уравновешенными шарми-пилотами) и самолетного зондирования над озером. Кроме того, велись специальные наблюдения за распределением температуры воды по вертикали в разных точках озера.

Указанный комплекс наблюдений на озере Севан осуществлен впервые.

Приведем некоторые данные об особенностях теплового баланса озера.

Уравнение теплового баланса водной поверхности имеет вид:

$$R = LE + P + B, \quad (1)$$

где R — радиационный приход-расход (или радиационный баланс);

LE — затраты тепла на испарение;

P — величина теплообмена с воздухом;

B — величина теплообмена с нижележащими слоями воды.

Из четырех членов уравнения в настоящее время экспериментально измеряются только два: имеются приборы для измерения величины R и различного типа испарители, которые иногда позволяют измерить величину E . Следует при этом отметить, что существовавшее ранее мнение о возможности прямого определения величины E с помощью

испарителей в настоящее время уже не является общепризнанным и бесспорным.

Величина B может быть рассчитана на основании измерения вертикального распределения температуры воды.

Величины E и P на основании теории атмосферной турбулентности могут быть определены следующим образом.

Как известно, распределение температуры T и влажности воздуха q в приземном слое атмосферы описываются следующими уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + w \frac{\partial T}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial z} k \frac{\partial T}{\partial z} \\ \frac{\partial q}{\partial t} + u \frac{\partial q}{\partial x} + w \frac{\partial q}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial z} k \frac{\partial q}{\partial z} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где u — скорость ветра (направление по оси x),

w — вертикальная составляющая среднего движения воздуха,

k — коэффициент турбулентного обмена.

Из уравнений (2) легко получаются следующие выражения:

$$P = -C_p \rho k \frac{\partial T}{\partial z} - C_p \rho \int_z^0 u \frac{\partial T}{\partial x} dz + C_p \rho \frac{\partial \overline{T_a z}}{\partial t} - C_p \rho w (T_a - T_z), \quad (3)$$

$$E = -\rho k \frac{\partial q}{\partial z} - \rho \int_z^0 u \frac{\partial q}{\partial x} dz + \rho \frac{\partial \overline{q_a z}}{\partial t} - \rho w (q_a - q_z), \quad (4)$$

причем значения $\frac{\partial T}{\partial t}$, $\frac{\partial q}{\partial t}$, w — относятся к слою $(0, z)$.

Таким образом, интенсивность тепло- и влагообмена, как показывают формулы (3) и (4), определяется величиной вертикальной турбулентной диффузии, величиной адвекции, влиянием нестационарности и вертикальных токов. При этом необходимо иметь в виду, что если вертикальный слой (величина z), в котором производятся измерения T и q незначителен, то можно предполагать, что некоторые члены справа уравнений (3), (4) могут оказаться относительно малыми.

Если оценить порядок членов уравнений (3); (4), приняв $z = 1$ м, то легко убедиться, что два последние члена справа обычно примерно на два порядка меньше первого; второй член также примерно на порядок меньше первого. Поэтому формулы (3), (4) для приземного слоя (т. е. для малых z) могут быть переписаны в следующем виде:

$$P = -C_p \rho k \frac{\partial T}{\partial z} - C_p \rho \int_z^0 u \frac{\partial T}{\partial x} dz; \quad (5)$$

$$E = -\gamma k \frac{\partial T}{\partial z} - \rho \int_0^z u \frac{\partial q}{\partial x} dz. \quad (6)$$

Для дальнейшего использования последних формул можно воспользоваться, например, теорией испарения, изложенной автором в работе [6], или, если не учитывать влияния адвекции, данными обычных градиентных измерений.

Как показывают формулы (5) и (6), для определения P и E , необходимы данные о величинах коэффициента турбулентности „ K “ в вертикальных градиентах температуры и влажности воздуха над водной поверхностью.

Для определения величин $\frac{\partial T}{\partial z}$ и $\frac{\partial q}{\partial z}$ в период экспедиции в различных точках озера были поставлены градиентные измерения.

Величина „ K “ была определена на основании подробных измерений вертикального профиля ветра в придном слое.

Материалы градиентных наблюдений, полученные экспедицией, показывают, что в период экспедиционных наблюдений наблюдались условия близкие к равновесным, а изменения метеорологических элементов по высоте хорошо соответствовало логарифмической зависимости.

Следует отметить, что надежное измерение вертикального профиля скорости ветра над водой связано с большими трудностями, в связи с чем экспериментальных данных по этому вопросу очень мало. Экспедиция, как нам кажется, успешно разрешила задачу получения надежных экспериментальных данных о вертикальном профиле ветра в придном слое озера Севая. Вертикальный профиль ветра измерялся чувствительными контактными анемометрами, установленными на различных высотах на специальной мачте, которая находилась у уреза озера. Наблюдения производились только при направлениях ветра с озера. В этих условиях, естественно, получились надежные данные об установившемся распределении скорости ветра над водной поверхностью, так как разгон ветра составлял более 6 км. Результаты обработки наблюдений за вертикальным профилем ветра показаны на рис. 1, где величины скоростей ветра на различных высотах над водной поверхностью изображены в полулогарифмических координатах.

Рис. 1 иллюстрирует выполнение логарифмической формулы для вертикального профиля ветра:

$$u_z = u_1 \frac{l_n \frac{z}{z_0}}{l_n \frac{z_1}{z_0}}. \quad (7)$$

Это выражение имеет определенное практическое значение при расчетах скорости ветра над водной поверхностью (u_2) по известной ско-

рости ветра на каком-либо одном уровне (u_1). По данным наблюдений над скоростью ветра характерное значение параметра шероховатости z_0 оказалось равным $10^{-1} \text{ м} = 10^{-1} \text{ м.м.}$ Это значение совпадает с полу-

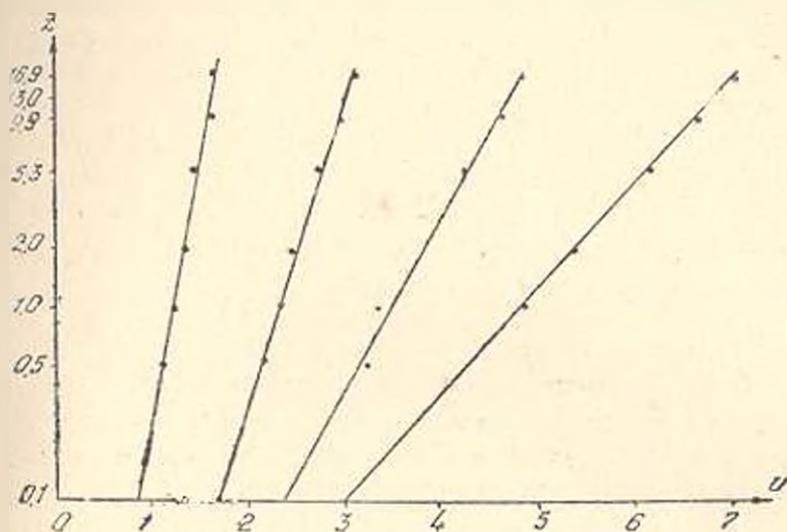


Рис. 1.

ченным Огневой Т. А. [4] значением для других водоемов. По величинам u_1 и z_0 расчет величины „ K^* “ произведем по известным формулам полуэмпирической теории турбулентности. На рис. 2 приведены дан-

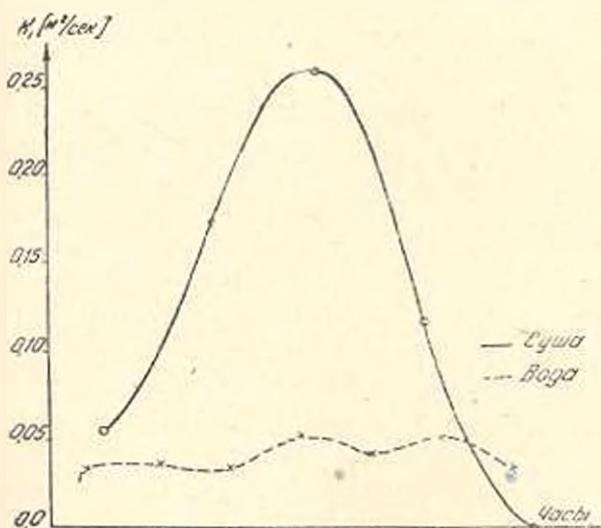


Рис. 2.

ные о суточной изменчивости коэффициента турбулентности для приводного слоя (р-н Острова) и приземного слоя (Нор Баязет). Этот рисунок наглядно характеризует различные режимы турбулентности над сушей и водой. Сильная суточная изменчивость величины „ K^* “ над су-

шей определяется главным образом влиянием фактора устойчивости на интенсивность турбулентного перемешивания. Над водой, где условия близки к равновесным, влияние фактора устойчивости несущественно, суточная изменчивость величины K оказалась незначительной, так как скорость ветра, являющаяся в этом случае единственным фактором турбулентности, в течение суток изменялась мало. Кроме того, среднее значение K для воды оказалось в несколько раз меньше среднего значения K для суши. Последнее является следствием изменения величины шероховатости водной поверхности по сравнению с сушей (величина шероховатости при этом уменьшается на 2 порядка), а также влиянием фактора устойчивости. По известным величинам K , $\frac{\partial T}{\partial z}$, $\frac{\partial \rho}{\partial z}$ легко рассчитать величины P и

LE и, на основании измерений величины R , из уравнения (1) определить величину B . Кроме указанного способа величина B была рассчитана вторым независимым способом. Как известно, распределение температуры воды τ для условий Севана (глубокий водоем и отсутствие постоянных течений) описывается уравнением:

$$\frac{d\tau}{dt} = \frac{\partial}{\partial z} k_b \frac{d\tau}{dz} \quad (8)$$

Из этого уравнения для величины B получаем следующее выражение:

$$B = B_r + C_{1\rho_1} \int_0^H \frac{\partial T}{\partial t} dz, \quad (9)$$

где B_r — величина теплообмена с ложем озера,

H — глубина озера,

k_b — коэффициент теплообмена в воде,

$C_{1\rho_1}$ — объемная теплоемкость воды.

Величина „ B “ рассчитывалась для глубоководной части Малого Севана, для которой теплообмен с грунтом можно не принимать во внимание. Независимый расчет величины „ B “ позволил оценить точность определения членов уравнения (1). Расхождения в значениях величины, полученной указанными двумя методами в среднем не превышали 10%, что в первом приближении можно принять за точность определения величины P и LE .

Изложенным способом определены суточные величины всех членов теплового баланса за период работы экспедиции, внутримесячная изменчивость которых изображена на рис. 3. Рисунок показывает что радиационное тепло расходовалось на испарение с водной поверхности, на нагревание воды и воздуха. Среднее суточное значение величины K оказалось равным $430 \frac{\text{кал.}}{\text{см}^2 \text{сутки}}$. Из этого количества теп-

ла, $230 \frac{\text{кал.}}{\text{см}^2 \text{сутки}}$ расходовалось на испарение, $170 \frac{\text{кал.}}{\text{см}^2 \text{сутки}}$ на нагревание воды и $30 \frac{\text{кал.}}{\text{см}^2 \text{сутки}}$ на нагревание воздуха.

Следует указать, что нагревание воздуха от воды, хотя и незначительное по величине, для периода наблюдений экспедиции, ха-

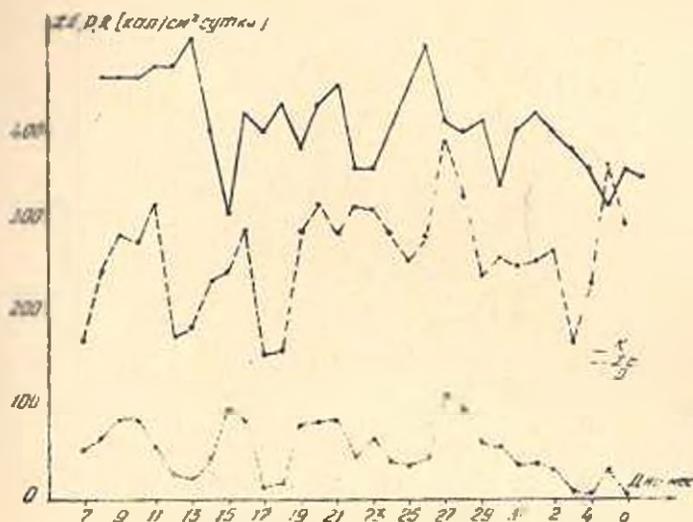


Рис. 3.

рактеризует одну из особенностей метеорологического режима Севана, в частности, глубоководной части его. В период работы экспедиции над частью Севана господствовали северные ветры, которые приносили на озеро сравнительно холодный воздух, последний, перемещаясь над водой, незначительно нагревался. Обычно в летнее время на водоемах равнинной, степной и полупустынной части СССР наблюдается обратный процесс—водоем не прогревает протекающий над ним воздух, а получает, хотя и в незначительном количестве, тепло из воздуха. Величина B , равная $170 \frac{\text{кал.}}{\text{см}^2 \text{сутки}}$ показывает, что если

это тепло распределить в слое воды толщиной в 20 м, то оно повысит температуру этого слоя примерно на 3° за месяц. Наблюдения за распределением температуры воды подтверждают не только прогрев воды, но и указанную величину прогрева. Главнейшей особенностью последнего процесса для Севана является значительная интенсивность перемешивания в поверхностном слое воды, в результате чего в летнее время существует хорошо выраженная расслоенность вертикального профиля температуры воды. На рис. 4 изображены осредненные вертикальные профили температуры воды за период работ экспедиции, показывающие, что в поверхностном слое существует

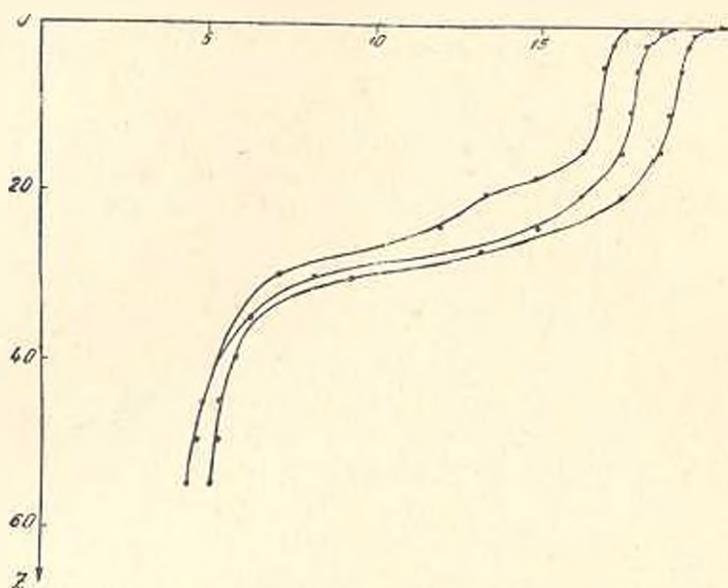


Рис. 4.

хорошо выраженный слой ветрового перемешивания с очень малыми градиентами температуры и мощностью 15—20 метров.

Величина R является основной составляющей теплового баланса, поэтому надежное определение ее имеет большое значение.

Как известно R выражается через главные составляющие следующим образом:

$$R = Q(1 - A) - (E_n - E_a) = Q(1 - A) - E_{эф.}, \quad (10)$$

где Q — суммарная (прямая и рассеянная) солнечная радиация, входящая на водную поверхность:

A — альbedo водной поверхности;

E_n — эффективное излучение водной поверхности;

E_a — эффективное излучение атмосферы.

В экспедиции удалось осуществить непрерывную запись величин R , Q , AQ современными актинометрическими приборами, установленными над водной поверхностью. Обработка записей величин R , Q , AQ позволила получить наиболее достоверные сведения об их изменении во времени.

На рис. 5 изображен суточный ход величин R и $Q(1 - A)$ на основании данных непрерывной записи. Поэтому, эти данные, по-видимому, обладают большей достоверностью, чем до этого имевшиеся. Рис. 5 показывает, что суточный ход величин R , $Q(1 - A)$ симметричен относительно полудня. Незначительная асимметрия в изменении этих величин, которая была обнаружена в предшествующих исследованиях не является, как можно предполагать, характерной для всех водных поверхностей. Заштрихованная область между двумя

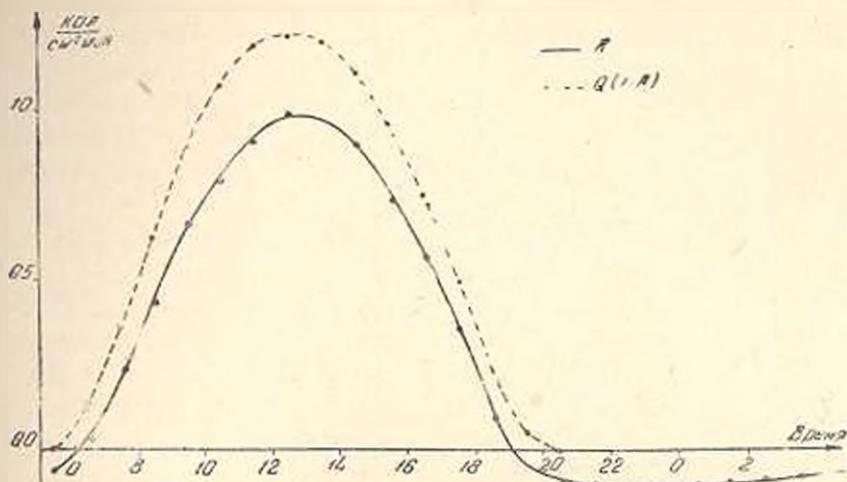


Рис. 5.

кривыми, численно равная эффективному излучению, показывает, что эффективное излучение имеет слабо выраженную суточную изменчивость. Последнее объясняется тем, что метеорологические факторы (температура воды, влажность воздуха и т. д.), определяющие величину $E_{эф}$, незначительно изменялись в течение суток. Поскольку измерения величин R , $Q(1-A)$ производились в одной прибрежной точке озера, постольку естественным является вопрос о том, каким образом можно использовать полученные данные для характеристики метеорологических условий в различных частях озера. Этот вопрос фактически относится к выяснению факторов, определяющих изменчивость величины R .

Величина радиационного баланса R определяется:

1. Приходом солнечной радиации как "прямой", поступающей к данной поверхности в виде потока радиации от солнца, так и рассеянной, поступающей после рассеяния солнечной радиации атмосферой, в особенности облаками. Величина прямой и рассеянной радиации в значительной степени определяется количеством облаков, так как влияние географических факторов (высота солнца и продолжительность дня) для всего озера можно принять постоянными. Поэтому изменчивость облачности в различных частях озера в основном определяет изменчивость величины R . Поставленные в период работы экспедиции некоторые специальные наблюдения за облачностью показали, что количество облаков, например, над Малым Севаном, иногда заметно отличается от количества облаков над Большим Севаном.

2. Распределением температуры и влажности воздуха над водоемом, которые определяют величину $E_{эф}$. При этом следует иметь в виду, что величина $E_{эф}$, непосредственно зависящая от температуры воды, может заметно изменять свое значение, если последняя изменяется, например, на $5-10^\circ$. Однако, как показывают наблюдения,

температура поверхности воды обычно, исключая очень узкую прибрежную полосу, мало меняется по зеркалу водоема.

3. Изменением альbedo A . Вследствие влияния отраженной радиации от различных слоев воды и от дна, различий в волнении и прозрачности воды величина альbedo может быть различной для разных частей озера.

Измерения величины альbedo в различных частях озера показали, что необходимо учитывать изменчивость этой величины по зеркалу водоема при определении радиационного баланса. Для учета изменчивости величины A по зеркалу озера экспедицией впервые получены некоторые экспериментальные материалы, которые следует в дальнейшем дополнить новыми данными. С июля м-ца 1956 г. на озерной станции „Остров Севан“ организована систематическая регистрация величин Q , R , A . Однако, необходимо иметь в виду, что наряду с производством наблюдений, следует разработать методику расчета радиационного баланса на основании обычных метеорологических наблюдений на береговых станциях для установления закономерностей радиационного режима озера в отношении выяснения климатологических норм, их изменчивости и других вопросов. За последние годы вопросу разработки методики расчета элементов радиационного баланса было посвящено много исследований, например, в ГГО под руководством проф. М. И. Будыко [1]. Предварительное сравнение рассчитанных величин радиационного баланса с измеренными показала значительные различия между ними, что очевидно обусловлено высокогорным положением озера Севан. В дальнейшем этот вопрос требует специального рассмотрения для выяснения методики расчета радиационного баланса применительно к метеорологическим условиям озера.

Необходимость использования данных по тепловому балансу, глубоко понимал крупнейший специалист по исследованию озера Севан В. К. Давыдов [2], который осуществил первую попытку расчета составляющих теплового баланса озера. Однако В. К. Давыдов, к сожалению, не имел в своем распоряжении данных по непосредственному измерению величины радиационного баланса, поэтому его расчеты имеют приближенный характер. Данные по тепловому балансу озера могут быть использованы для решения некоторых важных прикладных вопросов. Одним из них является вопрос об определении величины испарения с поверхности озера.

Проблемой определения испарения с водной поверхности занимаются очень давно и этому вопросу посвящено много исследований. Однако нельзя признать, что используемые на практике способы определения величины испарения являются надежными и обеспечивают ее с точностью, необходимой для решения многих практических задач. На озере Севан ведутся систематические наблюдения за величиной испарения по испарительному бассейну площадью 20 м^2 и испарителю ГГИ-3000, которые установлены в грунте на Озерной станции. Кроме того, имеется пловучий испаритель, данные по кото-

рому используются только выборочно, с учетом неблагоприятного влияния волнения на его показания.

В приводимой ниже таблице включены величины испарения (в мм) слоя воды за сутки или 12 часов, которые получены за июль м-ц 1956 г. с помощью испарителей (наземных и пловучего) и независимыми методами — методом теплового баланса и диффузионным методом. Расчет испарения по последним проводился по формулам (1) и (6).

Следует учесть, что при наблюдавшемся в этот период северном ветре испарительный бассейн находился при метеорологических условиях близких к условиям северной части М. Севана, фактически при условиях более благоприятных, чем они могли быть, например, при восточном или западном направлениях ветра. Для пловучего испарителя метеорологические условия также были близкими к условиям работы испарительного бассейна.

Способ определения испарения	Измеренные по испарителям			Рассчитанные методами	
	На суше		На плоту	диффузионным	теплового баланса
	20 м ²	ГГИ-3000	ГГИ-3000		
Период осреднения					
11 дней	2,4	3,6	2,7	2,3	—
7 суток	5,7	7,0	4,3	4,0	—
15 суток	6,4	7,5	—	4,7	4,2

Данные таблицы позволяют сделать следующие выводы.

1. Испарительный бассейн, и в особенности наземный испаритель ГГИ-300, показывают более высокую величину суточного испарения.

2. Величина испарения, получаемая методами теплового баланса и диффузионным, хорошо согласуется с величиной испарения, показываемой пловучим испарителем, для тех интервалов времени, когда показания последнего не искажаются неблагоприятными явлениями.

3. Дневные величины испарения, получаемые с помощью испарительного бассейна, хорошо согласуются с величинами испарения, получаемыми для того же времени всеми другими методами. Это обстоятельство, по-видимому, является следствием благоприятных условий для работы испарительного бассейна, о которых мы уже упоминали.

Второй вывод нам кажется совершенно естественным и очевидным, так как при благоприятных условиях пловучие испарители должны показывать величины испарения наиболее близкие к истинным.

Третий вывод требует некоторых пояснений. Основной его смысл состоит в том, что с точки зрения получения надежных данных о величинах испарения с поверхности естественного подояма с помощью наземного испарительного бассейна дневной режим его работы заметно отличается от ночного режима. Эти различия, по нашему мнению

связаны с влиянием различий в условиях теплообмена в воде, в бассейне и водоеме. Однако, данный вопрос, по-видимому нуждается в специальном исследовании. Сам по себе вывод о том, что показания наземного испарительного бассейна площадью 20 м² не характеризует истинную величину испарения с поверхности глубоководного водоема, не является новым. К аналогичному выводу пришли Т. Г. Феодорова и А. Р. Константинов [7], анализируя методику измерения с поверхности Валдайского озера.

Приведенные материалы не являются пока достаточными для сколько-нибудь широких практических выводов, но они, по нашему мнению, показывают эффективность использования методов теплового баланса и диффузионного для определения величины испарения и необходимость уточнения данных, получаемых с помощью наземных испарителей. Систематическое использование методов теплового баланса и диффузионного для определения величины испарения с поверхности озера Севан является необходимым и дальнейших исследованиях гидрометеорологического режима озера.

Таким образом, первые экспериментальные данные по составляющим теплового баланса озера Севан, которые получены экспедицией в 1956 г., показывают их исключительную важность в исследовании метеорологического режима озера. В дальнейшем необходимо обеспечить получение систематических подробных данных по всем составляющим теплового баланса для всех сезонов года. Этот материал может послужить той базой, которая необходима для правильного научно-обоснованного решения основного вопроса — составления подробного водного баланса озера Севан с прогнозом изменений его составляющих.

§ 2. Одной из важнейших частей метеорологического режима озера Севан является распределение воздушных потоков над зеркалом водоема.

Ветровой режим озера Севан в значительной степени определяет условия влаго- и теплообмена с окружающим воздухом, распределение влажности и температуры воздуха, режим облачности над различными частями озера. Можно утверждать, что особенности ветрового режима озера во многом отражает сложное влияние окружающего озера рельефа.

Поэтому подробное исследование ветрового режима имеет большое значение для понимания особенностей формирования метеорологического режима озера.

Некоторые данные о ветровом режиме озера приведены в работе Н. Г. Николаева [3], но этих данных недостаточно.

Как известно, для определения режима ветра над водоемом обычно используют показания флюгеров, установленных на береговых метеорологических станциях.

Для открытых водоемов проблема определения ветра над водоемом по данным береговых станций сведется к решению вопроса об

учете влияния на скорость ветра изменения свойств подстилающей поверхности при переходе воздушного потока с суши на воду. Этот эффект в первом приближении можно учесть путем введения некоторого простого множителя в показания стандартных метеорологических приборов.

Если на водоеме существует несколько береговых станций, то указанным приемом можно определить скорость ветра в различных частях водоема, а также получить среднюю скорость ветра на водоеме за тот или иной промежуток времени.

Указанная методика, при использовании некоторых упрощающих предположений, была применена В. К. Давыдовым [2] для определения величины испарения с поверхности озера Севан. Однако, особенности ветрового режима озера Севан настолько значительны, что применение существующей методики расчета ветра над озером встречает серьезные затруднения. Для выяснения этих вопросов рассмотрим некоторые данные, полученные экспедицией по ветровому режиму озера Севан.

На рис. 6 изображен корреляционный график по скорости ветра, одновременно измерявшимся у мыса Норадуз и около острова на высоте 10 м. График показывает, что корреляция между скоростями ветра незначительна. Если в Норадузе наблюдается скорость ветра в 1 м/сек, то на острове она может быть в пределах от 1,5 до 8 м/сек.

Несколько в другой форме этот же факт иллюстрируется и данными, приведенными на рис. 7, где изображены направление и скорость ветра, измеренные береговыми станциями 13.X.56 г. за 16 часов.

Эти данные показывают, что простое осреднение скорости ветра едва ли возможно.

Кстати необходимо отметить, что если по данным рис. 7 определить среднюю арифметическую скорость ветра, то она окажется равной 3,5 м/сек. Если же векторно сложить изображенные на рис. 7 величины, то средняя скорость окажется равной 4,5 м/сек.

В настоящее время остается неясным вопрос о том, какой способ осреднения является правильным для получения характерной средней величины скорости потока над озером, так как при измерении на береговых станциях, они в грубом приближении если и характеризуют скорости над водоемом, то только в отдельных частях последнего.

На рис. 8 приводится визуальная зарисовка с самолета распределения направления потоков и волнений, которые наблюдались в один и тот же момент времени над озером. Этот рисунок также показывает, что по показаниям береговой метеорологической станции можно характеризовать режим ветра только над некоторой частью озера.

Для различных направлений и величины скорости ветра „радиус“ действия метеорологической станции, по-видимому, может оказаться

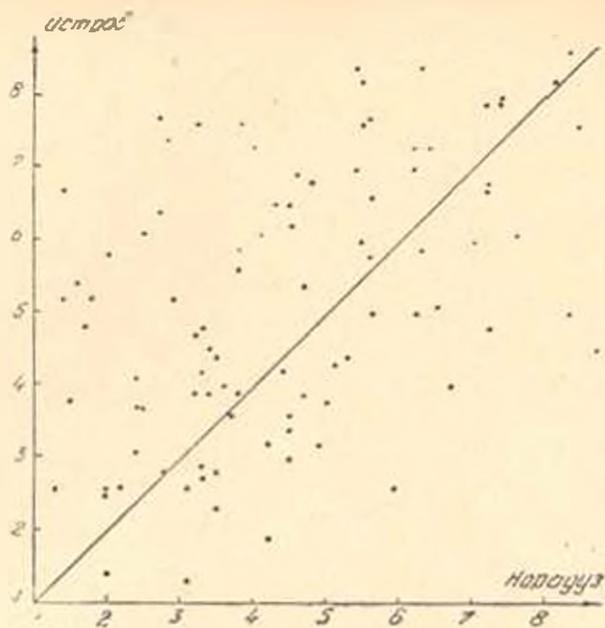


Рис. 6.

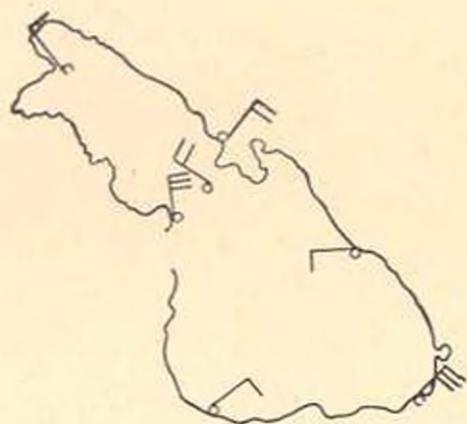


Рис. 7.

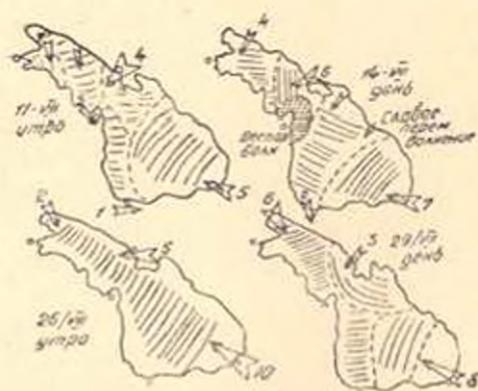


Рис. 8.

различным. Исследование этого вопроса, а также нахождение обычных коэффициентов „перехода“ от скорости ветра, измеренной на береговой станции, к скорости ветра над водной поверхностью, должно быть предметом специальных наблюдений и исследований.

Сложное распределение воздушных потоков над озером характеризует не только приподнятый слой воздуха, но распространяется в некоторых случаях до значительных высот над ним. На рис. 9 приво-

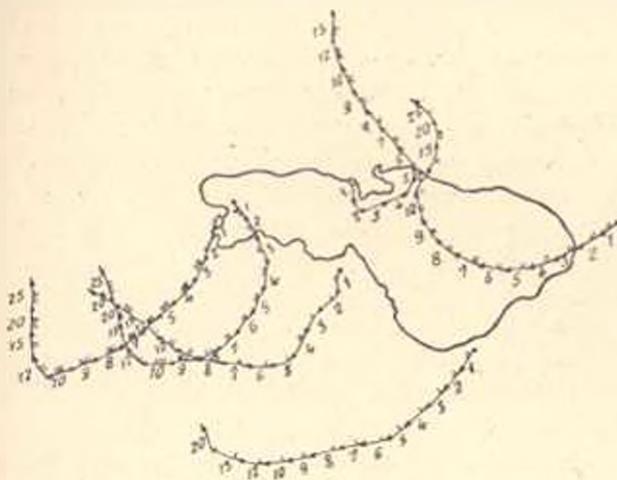


Рис. 9.

дится распределение скорости ветра, полученное на основании шароплотных наблюдений на береговых метеорологических станциях.

Направление ветра на различных высотах изображено стрелками, длина которых в выбранном масштабе изображает величину скорости, а высоты (в сотнях метров) обозначены цифрами. Как видно из рисунка, неоднородности в распределении потока распространяются до высот около 2,5—3 км над озером. Только на указанной высоте устанавливается единый юго-западный поток. Во всем нижнем слое атмосферы поток резко неоднороден, что является следствием влияния сложного рельефа окружающего озеро.

§ 3. Для познания механизма формирования метеорологического режима озера большое значение имеют подробные аэрологические исследования атмосферы над озером, которые были осуществлены экспедицией.

Эти исследования не являются достаточными, так как они характеризуют физические условия за сравнительно короткий промежуток времени года. Однако, и на основании этого материала представляется возможным осветить некоторые особенности общей картины метеорологических условий над озером.

Несмотря на котловинное положение озера, оно в сильной степени подвергается воздействию воздушных потоков, что выражается в существовании над озером в течение года более хрониче-

ных воздушных потоков, определяющих распределение метеорологических элементов не только в приводном слое воздуха, но и распределение температуры поверхностного слоя воды.

По данным экспедиции нижний приводный слой воздуха имеет мощность, не превышающую 50 метров. Выше 50 м над озером коэффициент турбулентности с высотой мало меняется. Поэтому закономерный рост коэффициента турбулентности с высотой, характерный для приводного слоя, по-видимому, распространяется до высоты около 50 м.

Метеорологический режим в этом слое в основном определяется процессом непосредственного взаимодействия воздуха и воды и для него являются действительными соотношения (5), (6). В настоящее время пока нет необходимых материалов для того, чтобы определить возможные границы приводного слоя по высоте, их изменчивость по зеркалу и зависимость от различных погодных условий. Однако, другие экспериментальные материалы, полученные экспедицией, показывают, что метеорологический режим в вышележащих слоях атмосферы над озером определяется не только процессом непосредственного взаимодействия воздуха и водной поверхности.

Данные самолетного зондирования на высотах 50 - 500 м показывают две важные особенности в метеорологическом режиме озера. Во-первых, температура и влажность воздуха над озером от М. Севана к Б. Севану закономерно и значительно меняется.

Во-вторых, эти изменения с высотой не уменьшаются, а увеличиваются. Если например, на высоте 50 метров разность температур равна $2,5^{\circ}$, а относительная влажность изменяется в пределах 65—45%, то на высоте 500 метров эти величины соответственно равны 4° , 8° и 75—45%. Эти различия, как показывают наблюдения, становятся незначительными только на высотах 1,5—2 км над водоемом.

Кроме того, в некоторых частях (Б. Севан, р-н Шоржи) над озером наблюдаются очень небольшие относительные влажности. Отмеченные особенности в распределении температуры и влажности воздуха над озером нельзя объяснить ни широтными различиями, ни изменчивостью температуры поверхности озера.

Также следует признать, что изменение температуры и влажности воздуха под влиянием обычной трансформации воздуха над водоемом, не может полностью описать указанные особенности. Для правильного понимания их, следует принять во внимание, что при наблюдавшемся в это время направлении потока над Большим Севаном также, как и над районом Шоржи, существовали заметные фоновые потоки, которые и обусловили относительно высокую температуру воздуха и пониженную относительную влажность.

Над М. Севаном в это время также наблюдались нисходящие движения, однако они не могли обусловить заметного фенового эффекта из-за небольшой высоты (всего около 200 м) ближайшего к озеру хребта, с которого поступал на озеро воздух. Существование

феновых потоков над озером Севан было отмечено Н. Г. Николаевым [3], однако только сейчас мы получили некоторый экспериментальный материал, который характеризует влияние этих потоков на формирование метеорологического режима озера. Исследование феновых потоков имеет важное прикладное значение для исследования метеорологического режима, который будет устанавливаться над освобожденной вследствие спуска воды площадью котловин.

Водно-энергетический институт
АИ Армянской ССР

Поступило 25 V 57

Մ. Գ. ՏԻՄՈՅԵԱԿ

ՍԵՎԱՆԱ ԼՃԻ ՄԵՏԵՈՐՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ՌԵԺԻՄԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅԱՆ ՄԱՍԻՆ

Ա մ փ ո փ ո ռ մ

Սեանա լճի հիդրոմետեորոլոգիական սեփմբ մանրամասն ուսումնասիրվել է 1927—30 թվականներին:

Վերջին 20—25 տարիների ընթացքում հիդրոմետեորոլոգիական դիտումները բավականաչափ պարզացել է: Զգալի փոփոխություններ են տեղի ունեցել նաև Սեանա լճի հայելու մակերեսի և ծավալի մեջ:

Գլխավոր Գեոֆիզիկական Դիտարանը 1956 թվականի 7—8 ամիսների ընթացքում կազմակերպեց լճի մետեորոլոգիական սեփմբի ձևավորման առանձնահատուկությունների էքսպեդիցիան ուսումնասիրություն: Տարվում էին ուղիացիան բալանսի կոմպլեքսը կազմող էլեմենտների, խնչպես նաև լճի հայելու վրա ուղղածիզ և հորիզոնական փոփոխականությունը մետեորոլոգիական ֆակտորների մետեորոլոգիական և անորոլոգիական դիտումները:

Գոյորջիայցիան մեծություն սրտչման համար օգտվում են գոյորջիացիաներով, որոնք Եերկայումս հանրաճանաչ չեն, կամ Ֆերմային բալանսի հավասարումով [1], որտեղ գոյորջիայցիան վրա ծախսված Ֆերմայությունը հաշվվում է որպես Ֆրային զանգվածի մակերեսին եկած Ֆերմայության-արեզակնային սուլիացիայի և օդի ու ջրի ստորին շերտերի նեո Ֆերմափոխանակման վրա ծախսված Ֆերմայությունների տարրերություն:

Ջրի ստորին շերտերի նեո Ֆերմափոխանակումը սրտչվում է ջրի Ֆերմաստիճանի ուղղածիզով բաշխման դինամիկայի հիման վրա, սնմիթական չափումների միջոցով:

Օդի նեո Ֆերմափոխանակումը սրտչվում է միևնույնությամբ տուրբուլենտականություն հիման վրա, բայց օդի Ֆերմաստիճանի և խոնավություն, քամու արագություն, ուղղածիզով բաշխման և տուրբուլենտ փոխանակման գործակցի:

Վ. Կ. Դավիդովը Սեանա լճի Ֆրային բալանսը կազմելիս (1932 թ.) օգտագործել է Ֆերմային բալանսի ալյալները, սակայն նրա տրամադրություն տակ շատ սուղ ալյալներ են եղել՝ սուլիացիան բալանսի անմիջական չափումները խաղաղ բացակայում էին, ուստի նրա հաշվումները մոտավոր բնույթ են կրում: Գլխավոր Գեոֆիզիկական Դիտարանի 1956 թվականի հուլիս-օգոստոս ամիսներին կատարած ուսումնասիրությունների նախնա-

կան արդյունքներով որոշված է՝ ավալին գոլորշիացողների ցուցանիշները որոնց ավալներից օգտվում են գոլորշիացման մեծություները որոշելիս, բարձրացված են մոտ 40 տոկոսով:

Ձերմային բարձրագույն և զիջուղիան մեխանիկով ուսուցված գոլորշիացման մեծությունները լավ համընկնում են լողացող գոլորշիացնողի տրվյալների հետ:

Սեանա լճի ավազանի քամու ուժերը յուրահասուցի է, ուստի ցամաքային մետեորոլոգիական կայանների ցուցումներից լճի մակերեսին անցնելու սովորական մեխանիկայի կիրառումը, հաշվի առնելով ասկի մակերեսը, խիստ զժժար է: Ավալին կայանների ցուցումները բուլբուլին չեն համընկնում իբրև Այդ հարցը պետք է լինի հատուկ ուսումնասիրության արժանի:

Օդի մերձքրյան շերտը ունի մոտ 50 մետր հաստություն, ուստի առերբուլենտության գործակցի օրինաչափ աճը ասարածվում է միայն 50 մետրի վրա:

Օդի ջերմաստիճանն ու խոնավությունը և նրանց գրադիենտները ՄԼԾ և Փոքր Սեանի վրա զգալիորեն ասարբերվում են:

Լճի ավազանում նկատվում են ֆեոնային հոսանքներ, որոնք ազդում են նրա մետեորոլոգիական ուժերի վրա:

Ջրային մակերեսի ակալայությունը ազդում է օդի խոնավության մեծությանը մինչև 3 կմ բարձրության վրա: Սեանի վրա օդի խոնավությունը զգալիորեն ավելի է նրանի վրայի խոնավությունից:

Սեանա լճի ջրում ջերմությունը տեղաբաշխվում է ինչպես մեծ լճերում, մակերեսային շերտում ջերմությունը ասարբերվում է խոր շերտերի ջերմությունից: Լճի իջնումը իրականացնելուց նրա ջերմային ուժերը խիստ կփոխվի:

Կուտարված հեռադոսությունները պետք է համարել հետագա անհրաժեշտ ուսումնասիրությունների առարկաներ:

ЛИТЕРАТУРА

1. Будишко М. И., Берлянд Т. Г., Зубенко Л. И. Методика климатологических расчетов составляющих теплового баланса. Труды ГГО, вып. 48, 1954.
2. Давыдов В. К. Испарение с поверхности озера Севан. Матер. по исследованию озера Севан, часть II, вып. 2, 1935.
3. Николаев М. Г. Ветры в бассейне озера Севан. Матер. по исслед. озера Севан, часть III, вып. 6, 1944.
4. Огнева Т. А. Характеристики турбулентного обмена над пододами. Труды ГГО, вып. 59, 1956.
5. Погосян Х. Е. Очерк об атмосфере. Гидрометеиздат, 1955.
6. Կոմիտաս Մ. Ս. Испарение с волной поверхности в турбулентной атмосфере. Уч. зап. ЛГУ, сер. физ. наук, вып. 7, № 120, 1949.
7. Феодоров Т. Г., Кокетанников А. Р. Опыт эксплуатации испарительной установки. Труды ГИИ, вып. 45, 1954.

ТЕПЛОТЕХНИКА

А. Ф. МЕЛНИК-АХИЗАРЯН

МЕТОД РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТЕКЛОВАРЕННЫХ
ВАННЫХ ПЕЧЕЙ

В современном стекольном производстве все большее значение приобретает электротермическая варка стекла. По данным зарубежной печати варка стекла в электрических печах получила развитие не только в производстве тарного, но также в области производства электроколбоного, боросиликатного, а также других видов специальных стекол. В Советском Союзе электрические стекловаренные печи применялись в промышленном масштабе лишь в Армянской ССР. В настоящее время предусматривается сооружение их в различных районах Союза богатых гидроэлектроэнергией. В связи с этим расчет указанных печей приобретает большой интерес. Между тем данных по проектированию электрических стекловаренных печей имеется очень мало, как в Советском Союзе, так и в зарубежной печати. Лишь в последние годы появились первые статьи по вопросам расчета электрических стекловаренных печей опубликованные в Научно-техническом информационном бюллетене ВНИИС [1] и [2]. Приведенная ниже методика расчета основана на опыте проектирования и эксплуатации 4-х экспериментальных печей сооруженных в Химическом институте Академии наук Армянской ССР и 3-х производственных печей Ереванского электролампового завода. Методика расчета разработана для электрических стекловаренных печей с поперечно расположенными стальными охлаждаемыми электродами.

Настоящий метод расчета электрических печей ставит целью установление зависимости мощности и основных габаритов печи от ее производительности и осуществляется по отдельным зонам бассейна печи. В связи с рядом принятых упрощающих положений точность расчетов определяется пределами $\pm 5 : 10\%$. Печь принята с усредненной теплоизоляцией для стен, пола и свода, т. е. тепловые потери приняты одинаковыми для всех ограждающих поверхностей печи. На самом деле величины теплоизоляции этих поверхностей сильно отличаются. Свод и стены верхнего строения печи подлежат усиленной теплоизоляции и тепловые потери от этих поверхностей должны быть доведены до минимума. Что касается стен и пола бассейна, то в связи с тем, что в противоположность пламенным печам стекломасса здесь имеет более высокие температуры, рекомендуется стены и под, омы-

ваемые стеклом, не покрывать теплоизоляцией и тем самым обеспечить более длительный период кампании печи. Установлено, что стены бассейна с охлаждаемыми электродами имеют более длительный срок службы. В качестве примера можно привести печь № 6 Ереванского стеклотарного завода с длительностью кампании 4—5 лет, а также печь № 3 Химического института. В варочной зоне с охлаждаемыми электродами огнеупор за 8,5 месяцев имел износ 3—4 см. Принятая средняя величина теплопотерь дает возможность определения основных параметров печи с достаточной точностью. Однако, в дальнейшем при конструировании необходимо теплопотери дифференцировать по элементам печи. Толщина стен, пода, свода, принята условно одинаковой при определении геометрических размеров печи, равной 400 мм. Высота подсводового пространства принимается минимальной, обеспечивающей наблюдение и выполнение эксплуатационных мероприятий. Высоту подсводового пространства из этих соображений принимаем также 400 мм. Расчет печи производится как для печей с полным разделением на 3 зоны, так и с общим варочно-осветлительным бассейном. Основной трудностью при расчете электрических печей является определение электрического сопротивления. Величина этого сопротивления меняется в зависимости от конфигурации, количества, формы электродов и взаимного их расположения.

Расчет сопротивлений производится по формуле

$$R = \rho \frac{b}{lh} \cdot n n_1$$

где $n = \frac{R_0}{R}$ — коэффициент учитывающий увеличение сопротивления в зависимости от количества, формы и расположения электродов;

R_0 — сопротивление определяемое по ф-ле Лурье [1] или на основании электрического моделирования;

R — сопротивление определяемое из предположения, что обе противоположные стенки сплошные электроды;

n_1 — коэффициент учитывающий неоднородность стекломассы, колеблющийся в пределах 1,03 ÷ 1,05.

Принятый метод дает возможность связать электрические параметры стекломассы с геометрической характеристикой печи. В случае применения других формул для определения сопротивления методика остается неизменной, так как при всех случаях сопротивление является функцией геометрических размеров печи. Важной характеристикой печи является удельный съем стекломассы с единицы зеркала варочной зоны печи «а» в кг/м² час определяемый экспериментально. Принимая в основу эти положения переходим к определению основных параметров варочной и осветлительной зон печи.

1. Варочная зона

В соответствии с основными параметрами и эскизом печи (рис. 1, 2) принимаем следующие обозначения:

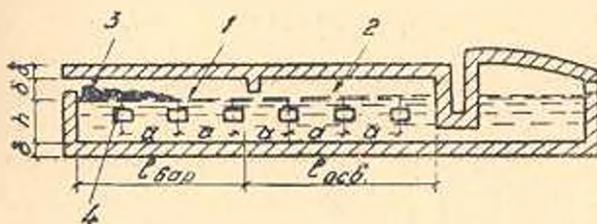


Рис. 1. Схема печи с общим варочно-осветительным бассейном. 1—зона варки; 2—зона освещения; 3—шлахта; 4—электроды.

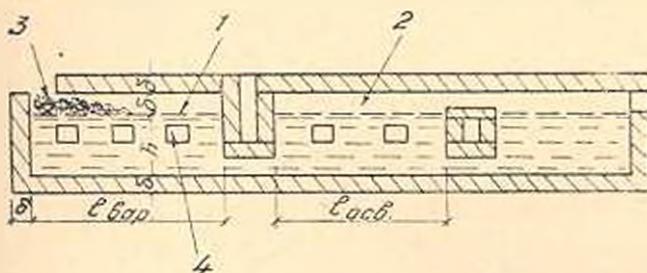


Рис. 2. Схема печи с отдельными варочной и осветительной зонами. 1—зона варки; 2—зона освещения; 3—шлахта; 4—электроды.

- $l_{вар}$ — длина варочной зоны печи;
- b — ширина печи;
- h — глубина;
- δ — толщина ограждений;

$\delta_1 = \delta$ — высота подсводового пространства;

P — производительность печи кг/час;

a — удельный съем в ккал с 1 м² зеркала варочной части печи в час;

K — средние теплопотери в ккал на кв. м наружной поверхности печи в час.

1. *Поверхностные теплопотери.* Расчет производится для печи с общей варочно-осветлительной ванной.

Величина теплопотерь определяется в соответствии с приведенным эскизом по формуле:

$$Q_n^0 = 2K [(l_{\text{вар}} + b + 3\delta) (h + 2\delta) + (l_{\text{вар}} + \delta) (b_{\text{вар}} + 2\delta)]. \quad (1)$$

После преобразований формула принимает вид

$$Q_n^0 = 2K [(h + 3\delta) (l_{\text{вар}} + b + 3\delta) + \delta l_{\text{вар}} - \delta^2 + lb]. \quad (2)$$

Выражая производительность печи — P через удельный съем и площадь зеркала стекломассы, получим:

$$P = a l_{\text{вар}} b. \quad (3)$$

Обозначим $\frac{l_{\text{вар}}}{b} = \lambda$,

тогда
$$l_{\text{вар}} = \sqrt{\frac{\lambda P}{a}}. \quad (4)$$

$$b = \sqrt{\frac{P}{a\lambda}}. \quad (5)$$

Подставив эти значения в формулу (2) получим:

$$Q_n^0 = 2K \left[(h + 3\delta) \left(\frac{\lambda + 1}{\sqrt{a\lambda}} \sqrt{P} + 3\delta \right) + \frac{P}{a} + \sqrt{\frac{\lambda}{a}} \sqrt{P} \delta - \delta^2 \right]. \quad (6)$$

Удельные теплопотери на 1 кг съема стекла

$$q_n^0 = 2K \left[(h + 3\delta) \left(\frac{\lambda + 1}{\sqrt{a\lambda P}} + \frac{3\delta}{P} \right) + \frac{1}{a} + \sqrt{\frac{\lambda}{aP}} \delta - \frac{\delta^2}{P} \right]. \quad (7)$$

На рис. 3 приведена кривая зависимости удельных теплопотерь от производительности для варочно-осветлительной зоны печи.

Как это следует из рис. 3 удельные поверхностные теплопотери резко падают с увеличением производительности печей до 1000 кг в час. В дальнейшем эта величина изменяется мало. С увеличением λ потери увеличиваются.

2. *Теплопотери через электроды.* В настоящем разделе приводится метод расчета теплопотерь через металлические пристенные электроды с воздушным охлаждением.

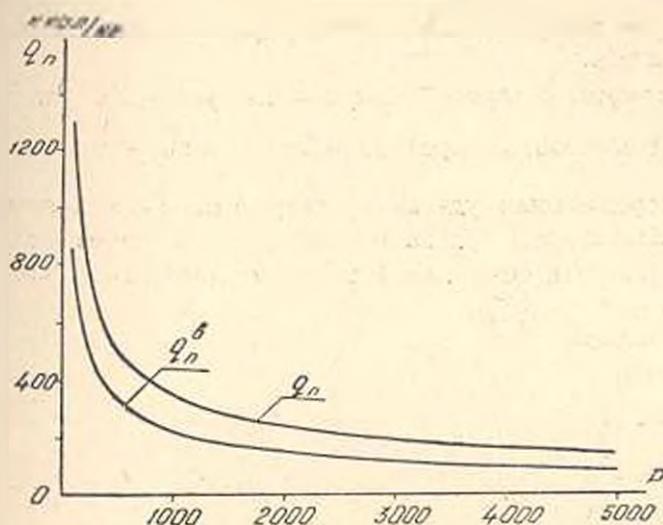


Рис. 3. График зависимости удельных поверхностных теплотерь от производительности печи. $q_n^в$ — удельные поверхностные теплотери варочной зоны, q_n — удельные поверхностные теплотери парочно-осветлительной зоны.

Величина теплотерь пропорциональна поверхности электрода:

$$Q_s = Sm, \quad (8)$$

где S — поверхность электрода в см^2 ;

m — теплотери с одного см^2 (согласно проведенным нами исследованиям величина эта равна от 5 до 7 $\text{ккал}/\text{см}^2 \text{ час}$).

Величину поверхности электрода выразим через электрические параметры, т. е. плотность тока и силу тока. Плотность тока отнесена к проекции поверхности электродов на плоскость стены и принимается исходя из данных исследований от 1 до 1,5 $\text{амп}/\text{см}^2$. Величина допустимой плотности тока в значительной степени зависит от теплового состояния стекломассы и удельного сопротивления.

Для стекол имеющих большое омическое сопротивление и большую крутизну кривой сопротивления плотность тока на электроде должна быть взята меньше. В формуле (8):

$$S = \frac{2I}{j} = \frac{2V}{Rj} = \frac{2V I_{нар} h 100}{\rho j b} = \frac{2V h \lambda 100}{\rho j P}, \quad (9)$$

а величина потерь на один кг съема стекла

$$q_s = \frac{200 V h \lambda m}{\rho j P}, \quad (10)$$

где I — сила тока всех электродов в амп ;

j — плотность тока на 1 см^2 проекции поверхности электродов в $\text{а}/\text{см}^2$;

R — сопротивление стекломассы между двумя электродами в омах .

ρ — удельное электрическое сопротивление стекломассы в Ом·см.

Из формулы следует, что величина удельных теплотерь на охлаждение электродов пропорциональна отношению $\lambda = \frac{I_{\text{нагр}}}{b}$ и обратно пропорциональна удельному сопротивлению и производительности печи. Зависимость удельных теплотерь через электроды от производительности печи для варочно-осветлительной зоны приведены на рис. 4.

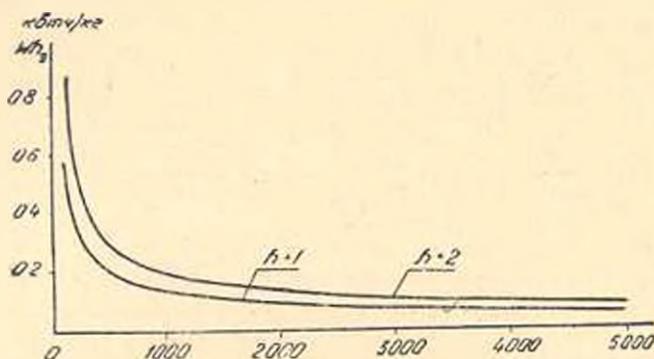


Рис. 4. График удельных теплотерь на охлаждение электрода в зависимости от производительности печи. W_h — суммарные удельные теплотери варочно-осветлительной зоны на охлаждение электродов.

3. *Полезный расход тепла.* Полезное тепло определяется из термохимических расчетов в зависимости от состава шихты. Для промышленных известково-натриевых стекол расход энергии на варку одного кг стекла содержащего от 25 до 40% стеклобоя колеблется в пределах 580—640 ккал/кг.

Суммарный удельный расход тепла на 1 кг стекломассы составит:

$$q = q_n + q_s + q_r \quad (12)$$

здесь q_n — величина поверхностных теплотерь.

С другой стороны

$$q = \frac{W_b}{P} \cdot 0,86 \text{ ккал/час}, \quad (13)$$

где W_b — мощность печи в *вт* при съеме стекломассы в количестве P кг/час;

$$q = \frac{W_b \cdot 0,86}{P} = \frac{V^2 \cdot 0,86}{P \cdot R}, \quad (14)$$

где

$$R = \frac{nb}{100 J_{\text{нагр}} h} = \frac{nb}{\lambda h 100} \quad (15)$$

Подставив величину R в формулу (14) имеем:

$$q = \frac{100 V^2 \lambda h}{P n_p} \cdot 0,86. \quad (16)$$

После подстановки соответствующих величин формула принимает вид:

$$\left(0,86 V^2 - 2V \frac{m}{j}\right) = (q_0 + q_0^0) \frac{P \cdot n_p}{\lambda h 100}. \quad (17)$$

Для электрических печей с общим варочно-осветлительным бассейном уравнение принимает вид:

$$\begin{aligned} \left(0,86 V^2 - 2V \frac{m}{j}\right) \frac{100 \lambda h}{P n_p} = q_0 + 2K \left[(h + 3\delta) \left(\frac{\lambda + 1}{\sqrt{a \lambda P}} + \frac{3\delta}{P} \right) + \right. \\ \left. + \frac{1}{a} + \sqrt{\frac{\lambda}{a P} \delta - \frac{\delta^2}{P}} \right]. \quad (18) \end{aligned}$$

Это уравнение является общим уравнением для зоны варки, связывающее все основные параметры печи.

Для электрических печей с разделенными зонами варки и освещения удельные теплотери q_0^0 в формуле (17) следует принять равными

$$q_0^0 = 2K \left[(h + 4\delta) \left(\frac{\lambda + 1}{\sqrt{a \lambda P}} + \frac{4\delta}{P} \right) + \frac{1}{a} - \frac{4\delta^2}{P} \right]. \quad (19)$$

Уравнения (17), (18) являются выражением теплового баланса, поэтому называем их *уравнениями баланса*. На основании этих уравнений определяются напряжения между электродами в зависимости от габаритов печи и технологических параметров, а затем и остальные величины характеризующие печь как то: сила тока, мощность, удельный расход, к. п. д. печи и пр.

II. Осветлительная зона

При расчете осветлительной зоны печи рассматриваются следующие статьи расхода тепла.

1. *Расход тепла на подогрев стекломассы.* а) Стекломасса поступающая из варочной зоны имеет среднюю температуру 1300°C и должна быть подогрета для лучшего освещения до температуры 1400°C . При производительности печи P кг/час и теплоемкости C_p ккал/кг $^\circ\text{C}$ имеем расход тепла:

$$q = P \Delta t_1 C_p.$$

б) К этой же статье расходов относится подогрев стекломассы циркулирующей в виду разности температуры из выработочной зоны в осветлительную. Разность температур достигает здесь до $200-250^\circ\text{C}$. Коэффициент потока для печей с протоком для пламенных печей (3)

достигает 2—2,5. Для электрических печей циркуляция будет больше, так как стекло в глубинных слоях имеет более высокие температуры и менее вязко. Об этом свидетельствует также быстрое разъедание протока. Расход тепла на подогрев циркулирующей стекломассы выражается формулой:

$$q_2 = n_2 \rho \Delta t_2 C_p.$$

2. Расход тепла на покрытие поверхностных теплопотерь.

В основу расчета теплопотерь от поверхностей пола, свода и стен печи принимаются средние величины их на один кв. м площади.

Ширину и глубину ванны принимаем такие же как и для варочной

$$h_{\text{осв}} = h_{\text{вар.}}$$

$$b_{\text{осв}} = b_{\text{вар.}}$$

Длина ванны в осветлительной части бассейна определяется в зависимости от требуемого времени для дегазации стекломассы. При постоянном сечении ванны скорость производственного потока на различных участках по длине и по глубине различна. На величину скорости оказывают влияние: разница вязкости стекломассы по глубине и по ширине (особенно у электродов), продольные и поперечные конвекционные потоки, ширина печи и пр. Наличие конвекционных потоков вызывает условия затрудняющие осветление как по причине заноса непроваренной стекломассы из варочной части быстрыми поверхностными потоками, так и по причине возможности появления вторичных пузырей из-за температурной неоднородности стекломассы. Поэтому формула Стокса для определения площади осветлительной зоны в данном случае неприемлема, в связи с чем при конструировании печи исходят из опытных данных. Во всяком случае можно принять, что длина осветлительной зоны пропорциональна площади варочной зоны определяемой в соответствии с производительностью печи. Надо иметь в виду, что эта пропорциональность не линейная — чем длиннее печь, тем большая часть стекла осветлена уже в варочной зоне и тем меньшая неосветленная часть поступает в осветлительную. Следовательно, площадь последней по мере увеличения варочной зоны должна быть относительно меньшей. Фактически осветление стекломассы в варочной зоне происходит в глубине по мере погружения проваренной более холодной стекломассы в горячие ее слои в зоне электродов. Величина α может быть определена лишь на основании экспериментальных данных.

Величина поверхностных теплопотерь осветлительной зоны определяется по формуле:

$$Q_n^0 = 2K(l_{\text{осв}} + 2\delta)(h + b + 4\delta) + (b + 2\delta)(h + 2\delta). \quad (22)$$

Подставив соответствующие значения для $l_{\text{осв}}$ и h получаем величину удельных теплопотерь на 1 кг стекломассы

$$q_n^0 = 2K \left\{ \sqrt{\frac{\lambda}{a}} \left[(h + 4\delta) + \left(\alpha + \frac{1}{\lambda} \right) \right] \frac{1}{\sqrt{\rho}} + \frac{4\delta(h + 3\delta)}{\rho} + \frac{\alpha}{a} \right\}. \quad (23)$$

Это общее уравнение теплового баланса осветлительной части для случая радикального разделения варочной и осветлительной зон.

В случае общего варочно-осветлительного бассейна величина поверхностных теплопотерь осветлительной зоны с достаточной точностью определяется по формуле:

$$q_n^0 = 2K \left[\frac{\alpha}{\sqrt{\rho}} \right] \sqrt{\frac{\lambda}{a}} (h + 4\delta) + \frac{\alpha}{a} + \frac{h + 3\delta}{\sqrt{a\rho}}. \quad (24)$$

Величина удельных теплопотерь на охлаждение электродов определяется также как и в варочной зоне по формуле (8). Подставив вместо $l_{\text{осв}}$ и h их значения получим:

$$q_n^0 = \frac{2 V h m \alpha \lambda}{n \rho_0 j \rho}. \quad (25)$$

Удельная мощность, необходимая для покрытия всех теплопотерь расхода на нагрев стекломассы, определится по формуле:

$$W_{\text{осв}} = \frac{0,86 V_1^2 h l_{\text{осв}}}{n \rho_0 j \rho}.$$

или

$$W_{\text{осв}} = 86 \frac{V_1^2 h \alpha \lambda}{n \rho_0 j \rho}. \quad (26)$$

Уравнение баланса для осветлительной зоны примет вид

$$\left(0,86 V_1^2 - \frac{2V_1 m}{j} \right) \frac{100 \cdot h \alpha \lambda}{n \rho_0 j \rho} = C_p (n_2 \Delta t_2 + \Delta t_1) + q_n^0. \quad (27)$$

Величина V_1 с достаточной точностью определяется по формуле:

$$V_1 = \frac{m}{0,86 \cdot j} + \sqrt{\frac{[(n_2 \Delta t_2 + \Delta t_1) C_p + q_n^0] \rho j \rho n}{86 h \alpha \lambda}}. \quad (28)$$

На основании приведенных формул составлены кривые основных параметров электровечи в зависимости от ее производительности. В основу расчетов приняты результаты исследований проведенных на промышленной печи Химического института АН Армянской ССР, опытной печи Ереванского электролампового завода и эксплуатационных данных других печей: $a = 50 \text{ кг/м}^2 \text{ час}$ — съем стекломассы с одного кв. м площади зеркала варочной части в час;

$j = 1 \text{ амп/см}^2$ плотность тока на поверхности электрода;

$\rho = 3 - 3,5 \text{ ом.см}$ удельное сопротивление определяемое по кривым $\delta = f(t)$ для электроколбоного стекла.

$n = \frac{R_0}{R}$ определена по номограммам, составленным на основании формул Лурье;

δ — толщина стен свода, дна бассейна, а также высота подсводового пространства приняты для упрощения расчета одинаковыми, равными 400 мм;

$m = 7 \text{ ккал/см}^2$ — величина теплопотерь с одного см^2 поверхности электрода;

$K = 2500 \text{ ккал/см}^2$ — средняя теплопотеря с одного квадратного метра поверхности печи (принимается из условия теплоизоляции только поверхности печи не омываемой стекломассой, с учетом износа огнеупора).

Расчеты приведены для $\lambda = 1,0$;

$$h = 0,7 \text{ м.}$$

Из приведенных диаграмм рис. 5 следует, что к. п. д. варочной осветлительной зоны резко меняется для печей небольших габаритов.

Для печей производительностью больше 100 кг/час изменение

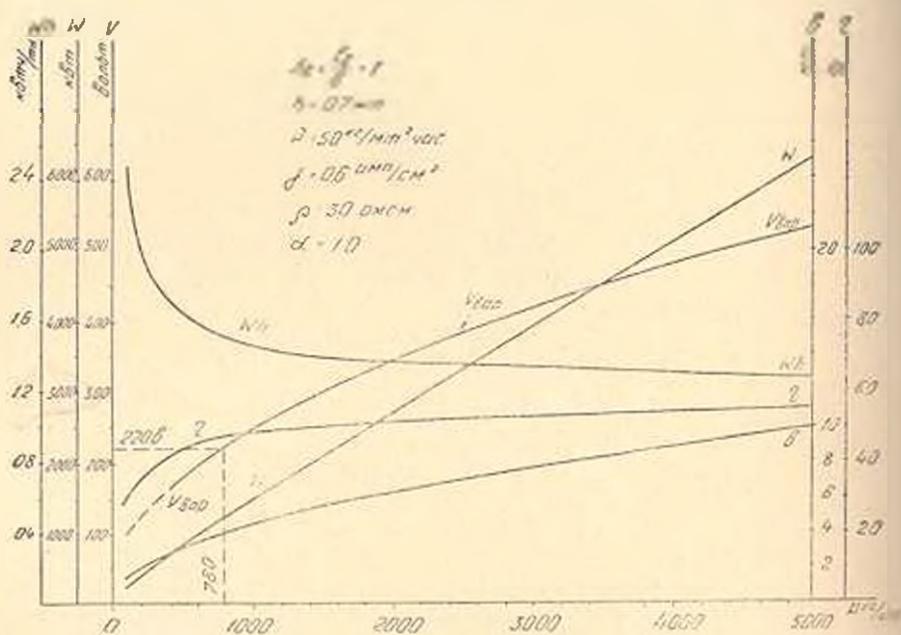


Рис. 5. Типовая диаграмма для расчета электрических стекловаренных печей.

к. п. д. относительно небольшое, а именно от 41 до 55%, тоже в отношении и других основных параметров. Ширина печи при увеличении производительности печи от 1000 кг/час до 5000 кг/час меняется лишь в 2—2,5 раза. Тоже самое можно отметить в отношении напряжения. Производительность печи ограничивается допустимым напряжением, которое из условия техники безопасности принимается не выше 220 в. Однако за рубежом известны печи работающие на на-

пряжении 380 в. и выше. При заданном напряжении увеличение производительности печи возможно лишь путем увеличения λ , т. е. длины печи. На рис. 5 основные параметры печи для максимально допустимого напряжения 220 в. отмечены пунктирной линией.

Производительность при той же ширине печи увеличивается с 780 до 1800 кг/час при увеличении длины печи с 8 до 16 м. Приведенные кривые свидетельствуют о целесообразности сооружения более мощных печей.

Исходя из вышесказанного можно сделать следующие выводы:

1. Приведенные формулы дают возможность установить зависимость между производительностью, геометрическими размерами и электрическими параметрами варочно-осветлительной зоны печей с охлаждаемыми пристенными электродами.

2. Принятые в основу формулы экспериментальные величины должны уточняться на основании данных эксплуатации производственных печей и лабораторных исследований.

3. Основные параметры электрических печей могут определяться по номограммам составленным на основании приведенных формул, что значительно упрощает расчет и конструирование электрических стекловаренных печей.

4. Вышеописанную методику можно применять для расчета электрических стекловаренных печей различных конструкций.

Химический институт
АН Армянской ССР

Поступило 15 X 1956

Ա. Յ. ՄԱՐԻՔ-ՀԱՆՆԱԶԱՐՅԱՆ

ԱՊԱԿՈՒ ՀԱՄԱՆ ՎԱՆՆԱՅԻՆ ԷԼԵԿՏՐԱՎԱԹԱՐՅԱՆՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱԿԱՆ
ՄԵԹՈԴԸ

Ի մ փ ո փ ո ռ ը

Ապակու էլեկտրահալման վառարանների հաշվման և նախադիման մեթոդները ներկայումս ինչպես սովորական, այնպես էլ արտասովորական գրականության մեջ չլսա թույլ են յուսարանված: Եւրկա հողվածում բերված է սեղողանկյուն հատվածքով բնդպատյա սառեցիպող էլեկտրոդներով ապակու հալման էլեկտրական վաննային վառարանների հաշվման եղանակը էլեկտրոդների յայտական դատարանի վեպքում: Հաշվարկի հիմքում ընկած է վառարանի պարզեցված սխեման (նկ. 1 և 2), մակերեսային կուրուստների նայասարաչափ բաշխումը:

Ստացված ապակու մեկ կիլոգրամի նամար տեսակարար մակերեսային շերտային կուրուստները կարելի է սրոշել 7, 19, 23, 24 ֆորմուլաների օգնությամբ: Այդ ֆորմուլաներում վառարանի երկման մասի հիմնական երկրաչափական չափերը՝ երկարությունը և յայտությունը՝ արտահայտված են նրանց հարաբերությամբ-ը, ապակու տեսակարար հանույթը երկման

զոնայի հայելուց նշանակված է *Ա-ով* և վառարանի արտադրողականությունը՝ *Բ-ով*։

Վառարանի մակերեսային ջերմային կորուստների կախումը նրա արտադրողականությունից բերված է նկ. 3-ում։

էլեկտրոդի սասեցման տեսակարար ջերմային կորուստները արտահայտվում են 10 ֆորմուլայով, որտեղ էլեկտրոդի մակերեսն արտահայտվում է էլեկտրական պարամետրերով։ Նկ. 4-ից հետևում է, որ այդ կորուստները վառարանի արտադրողականության մեծացման նեա կտրուկ կերպով վաճառվում են։

Գիտենալով 1 կլ պակիու հալման համար անհրաժեշտ էլեկտրաէներգիայի ծախսը, վառարանի ելման և մաքրման զոնաների համար կազմվում է ջերմային բալանսի հավասարումը, որը ննարափորություն է տալիս արտածել վառարանի հիմնական երկրաչափական և էլեկտրական պարամետրերի կախումը նրա արտադրողականությունից։

Այդ հավասարումներում էլեկտրոդների միջև եղած դիմադրությունն արտահայտված է որպես Ֆուենկցիա ավազանի երկրաչափական չափսերից և գործակցի օգնությամբ, որը հաշվի է առնում գիմադրության փոփոխությունը՝ կախված էլեկտրոդների քանակից, չափսերից և անդադրումից։ Ուի մեծությունը որոշվում է համապատասխան ֆորմուլաների օգնությամբ կազմված կորերով կամ վառարանի էլեկտրական մոդելավորումով։

17 և 28 հավասարումների հիման վրա կառուցված կորերի դանազան լ-ներին և վառարանի խորություններին օգնությամբ, ավսյալ արտադրողականության վառարանի համար հեշտությամբ կարելի է որոշել վառարանի հզորությունը, էներգիայի տեսակարար ծախսը, լարվածությունը, ՕԳԳ-ն և վառարանի չափսերը, պրակտիկ հաշվարկների համար բավարար ճշտությունը։

Հոգվածում բերված են կորեր (նկ. 5), որոնք վերաբերվում են էլեկտրակիրային ապակու ելման վառարաններին, որոնցից բխում է, որ սառեցման էլեկտրոդներով վառարանները նպատակահարմար է կառուցել 12 տոննա արտադրողականությունից բարձր Ստալոված բանաձևերից նույնպես հեշտում է, որ տրված լարվածության գեղքում վառարանի արտադրողականության մեծացումը կարելի է կատարել *Լ-ի* մեծացման հաշվին։

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. М. Г. Степаненко. Научно-техн. информ. бюллетень, № 1, 1954, стр. 1.
2. М. Г. Степаненко, А. А. Пахлеваник. Научно-техн. информ. бюллетень, № 3, 1954, стр. 31.
3. Д. Б. Гинзбург. Стекловаренные печи. Гизлегпром, 1948.

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

М. М. КАРАПЕТЯН

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ
 В ПЕРЕДВИЖНЫХ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ УСТАНОВКАХ

В передвижных электрифицированных установках, питающихся гибким неэкранированным кабелем, величина перенапряжения в различных точках установки зависит от волновых параметров кабеля и электродвигателя. Вопрос волновых параметров неэкранированного кабеля был рассмотрен ранее [1, 2]. Для рассмотрения волнового процесса требуется также определение коэффициента связи между жилами кабеля, определение роли намотанного на барабан кабеля в процессе распространения волны и знание волновых параметров электродвигателя. Настоящая статья посвящена рассмотрению указанных вопросов. Задача определения коэффициента связи между жилами неэкранированного кабеля рассматривается впервые. Немногочисленные литературные данные о волновых параметрах машин показывают, что эти параметры зависят, в основном, от конструкции и схемы соединения обмоток машин. При этом параметры машин могут различаться до 5 раз [3]. Некоторые попытки их теоретического определения [3] не дали результатов, пригодных для практического применения.

В статье приводятся данные по волновым параметрам машин полученные опытным путем на одной установке Ленинградского политехнического института [2].

Определение коэффициента связи $K_{ск}$. На величину перенапряжения между фазами двигателя и его корпусом оказывает значительное влияние величина коэффициента связи между тремя фазовыми и нулевыми жилами кабеля. Опыты производились на двух типах гибких кабелей напряжением 1,0 кВ, типа КШЭП, сечением $4 \times 10 \text{ мм}^2$ и 3,0 кВ сечением $3 \times 2,5 + 3 \times 1,0 \text{ мм}^2$. С учетом работы установки, опыты производились при следующих условиях [1, 2]:

- а) кабель с экраном (из алюминиевой фольги толщиной 0,03 мм) был намотан на барабан;
- б) кабель без экрана был поднят над землей на 25—30 см.
- в) кабель без экрана лежал по всей длине на земле.

Эти условия не полностью охватывают реальную работу кабеля, но позволяют определить диапазон изменений $K_{ск}$ во время его работы.

Коэффициент $K_{ск}$ определяется по двум схемам, приведенным на рис. 1. Волна U_1 подавалась на три параллельно соединенные жилы (рис. 1а) и измерялась индуктированное напряжение U_2 на четвертой

нулевой жиле. В конце кабеля все жилы его были соединены в параллель и заземлены. Коэффициент связи $K_{сх}$ определяется следующим отношением амплитуд U_2 и U_1 :

$$K_{сх} = \frac{U_2}{U_1}. \quad (1)$$

Изолированная в начальной точке жила (на рис. 1а — нулевая жила) не принимает участия в процессе распространения электромагнитной волны по трем остальным жилам и получает потенциал, который индуцируется в данной точке пространства электромагнитным полем этих жил.

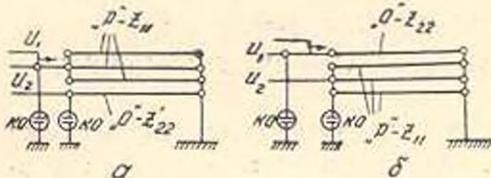


Рис. 1. Схема соединения жил для определения коэффициентов связи между жилами кабеля.

Ток I_2 в изолированной жиле отсутствует. Соответствующая картина имеет место и в схеме по рис. 1б. В обоих случаях (рис. 1а и б) рассматривается стадия процесса до отражения волны от конца кабеля.

Уравнения электромагнитных волн в жилах кабеля, в соответствии с соединением, показанным на рис. 1, будут иметь вид [4]:

$$U_1 = I_1 \cdot Z_{11} + I_2 \cdot Z_{12}; \quad (2)$$

$$U_2 = I_2 \cdot Z_{22} + I_1 \cdot Z_{12}.$$

Но так как $I_2 = 0$, то

$$U_1 = I_1 \cdot Z_{11}; \quad U_2 = I_1 \cdot Z_{12}, \quad (3)$$

где I_1 — ток в трех параллельных жилах кабеля.

Для схемы по рис. 1а получим следующее выражение $K_{сх}$:

$$K_{сх1} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{Z_{12}}{Z_{11}}, \quad (4)$$

где: Z_{12} — взаимное волновое сопротивление жил кабеля;

Z_{11} — собственное волновое сопротивление жил кабеля.

Аналогично, для схемы по рис. 1б получим:

$$K_{сх2} = \frac{Z_{12}}{Z_{22}}, \quad (5)$$

где Z_{22} — собственное волновое сопротивление жил кабеля.

На рис. 2 изображены осциллограммы волн напряжения U_1 и U_2 на кабеле 1,0 кв, лежащем на земле, при опыте

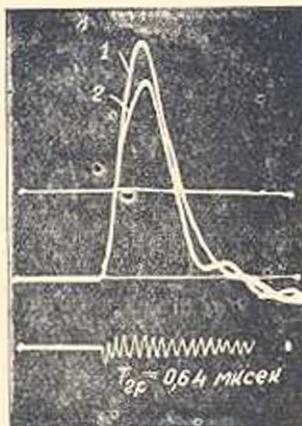


Рис. 2. Осциллограммы волн напряжения в начале кабеля 1,0 кв, лежащего на земле и включенного согласно рис. 1а. 1. Волна напряжения U_1 первой группы жил кабеля; 2. Индуцированное напряжение U_2 второй группы жил кабеля.

по схеме рис. 1а для волны $t_{\phi}/t_n = 3,0/4,0$ мксек. Результаты опытов сведены в табл. 1.

Таблица 1

Обозначение по рис. 1	Кабель 1,0 кв сеч. 4×10 м.м ²			Кабель 3,0 кв сеч. $3 \times 2,5 + 3 \times 1,0$ м.м ²			Условия работы кабеля
	Амплитуда падающей волны U_0	Длина фронта и длина падающей волны t_{ϕ}/t_n	Коэффициент связи $K_{ск}$	Амплитуда падающей волны U_1	Длина фронта и длина падающей волны t_{ϕ}/t_n	Коэффициент связи $K_{ск}$	
	вольт	$\frac{\text{мксек}}{\text{мксек}}$	—	вольт	$\frac{\text{мксек}}{\text{мксек}}$	—	
а	600	2,7/10	0,46	700	2,7/10	0,66	Кабели экранированы
б	1000	2,7/10	0,22	700	2,7/10	0,65	
а	700	3,0/4,0	0,52	750	3,0/4,0	0,66	
б	900	3,0/4,0	0,27	750	3,0/4,0	0,64	
а	800	1,6/4,3	0,54	850	1,6/4,3	0,57	
б	800	1,6/4,3	0,32	850	1,6/4,3	0,56	
а	990	2,1/35	0,91	750	2,7/4,0	0,92	Кабели поляют под землей
б	1050	2,1/35	0,85	750	2,7/4,0	0,92	
а	—	—	—	1100	1,6/4,3	0,95	
б	—	—	—	1030	1,6/4,3	0,94	
а	1200	2,7/4,0	0,94	1100	1,3/4,5	0,87	Кабели лежат на земле
б	1050	2,7/4,0	0,85	—	—	—	
а	875	1,3/4,5	0,90	—	—	—	
б	940	1,3/4,5	0,78	—	—	—	

Определение волновых сопротивлений Z_{11} , Z_{22} и Z_{12} . Как видно из рис. 3, кабель имеет три волновых сопротивления Z_{11} , Z_{22} и Z_{12} . В силу (2) при граничном условии $U_3 = 0$, соответствующем заземлению одной из жил кабеля, получим:

$$I_1 = \frac{Z_{12}}{Z_{22}} = -I_2 \quad (6)$$

Подставляя уравнение (6) в первое из уравнений (2), получим:

$$U_1 = I_1 \left(Z_{11} - \frac{Z_{12}^2}{Z_{22}} \right),$$

или же

$$Z_{11} = \frac{U_1}{I_1} = Z_{11} - \frac{Z_{12}^2}{Z_{22}} \quad (7)$$

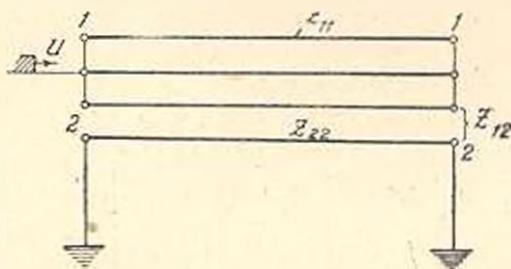


Рис. 3. Схема частичных волновых сопротивлений кабеля при заземлении одной из жил.

Имея уравнения (4), (5) и (7), можно написать следующие выражения для собственных и взаимных волновых сопротивлений:

$$Z_{11} = \frac{Z_{01}}{1 - K_{св1} \cdot K_{св2}}; \quad (8)$$

$$Z_{22} = \frac{Z_{02} \cdot K_{св1}}{K_{св2} (1 - K_{св1} \cdot K_{св2})}; \quad (9)$$

$$Z_{12} = \frac{Z_{01} \cdot K_{св1}}{1 - K_{св1} \cdot K_{св2}}. \quad (10)$$

где данные о величине эквивалентного волнового сопротивления Z_{01} , определенные согласно рис. 3, приводятся в работе [1]. Значения $K_{св1}$ и $K_{св2}$, определенные выше экспериментально, приводятся в таблице 1.

На основании приведенных формул (8), (9) и (10) подсчитаны величины взаимных и собственных волновых сопротивлений для кабелей на напряжение 1,0 и 3,0 кв. Результаты вычислений приведены в таблице 2.

Таблица 2

Кабель 1,0 кв сеч. $4 \times 10 \text{ мм}^2$				Кабель 3,0 кв сеч. $3 \times 2,5 + 3 \times 1,0 \text{ мм}^2$				Условия работы кабеля
Длина фронта и длина падающей волны t_{ϕ}/t_0	Собственное волновое сопротивление		Взаимное волновое сопрот. между рабочей и нулевой жилами Z_{12}	Длина фронта и длина падающей волны t_{ϕ}/t_0	Собственное волновое сопротивление		Взаимное волновое сопрот. между рабочей и нулевой жилами Z_{21}	
	3-х жильный кабель Z_{11}	Нулевой жила кабеля Z_{12}			3-х жильный кабель Z_{22}	Нулевой жила кабеля Z_{21}		
мксек/ мксек	ом	ом	ом	мксек/ мксек	ом	ом	ом	
2,7/10	22,2	45,5	10,2	2,7/10	43,7	41,4	28,8	Экранированный кабель
2,7/40	21,1	40,2	11,0	2,7/40	43,3	44,6	29,5	
1,6/4,3	25,6	43,3	13,9	1,6/4,3	38,2	38,8	21,7	
2,7/40	210	222	187	2,7/40	206,4	206,4	190,0	Кабель проложен над землей
1,1/5,6	—	—	—	1,6/1,3	346,0	350,0	328,0	
2,7/40	190	210	178	—	—	—	—	Кабель проложен на земле

Как показали эксперименты, величины $K_{св}$ могут изменяться в широких пределах в зависимости от условий работы кабеля, что объясняется изменением волновых сопротивлений Z_{11} , Z_{22} , Z_{12} .

Для экранированного кабеля 1,0 кв величина собственного волнового сопротивления 3-х жил Z_{11} меньше (рис. 1а), чем собственное волновое сопротивление одной жилы Z_{22} того же кабеля (рис. 1б).

следовательно $K_{ск1} > K_{ск2}$. Для экранированного кабеля 3,0 кв $K_{ск1} \approx K_{ск2}$ (из-за равномерного расположения расщепленной нулевой жилы кабеля $Z_{11} \approx Z_{22}$). При поднятом и лежащем на земле кабеле Z_{11} и Z_{22} мало отличаются друг от друга, так как их величины, в основном, зависят от глубины залегания поверхности нулевого потенциала.

Теоретическое определение собственных и взаимных волновых сопротивлений гибких неэкранированных кабелей при различных условиях их работы с учетом глубины залегания поверхности нулевого потенциала, а так же влияние изменения магнитного потока в жилах при крутых подъемах напряжения, затруднительно. Этот вопрос требует дальнейшего рассмотрения.

Волновые процессы в кабеле, намотанном на барабан. Во время работы передвижной машины число витков кабеля на барабане может изменяться [1, 2] в больших пределах. С изменением числа витков кабеля изменяются индуктивность и емкость кабеля относительно корпуса машины или же земли (металлический барабан смонтирован на передвижной машине).

Расчетно-теоретическое определение индуктивности или емкости и рассмотрение волновых процессов, полностью или частично намотанного на барабан кабеля, является затруднительным. Поэтому исследования волновых процессов в кабеле, намотанном на барабан, производились экспериментальным путем на металлическом макете барабана, имеющего размеры кабельного барабана электроTRACTORного агрегата типа ХТЗ-12. Макет барабана был собран из железа толщиной 0,3 мм. При работе с кабелем 1,0 кв на барабан наматывалось 96 витков (4 слоя по 24 витка в каждом), а при кабеле на напряжение 3,0 кв—351 виток (9 слоев по 39 витков в каждом).

Форма волны напряжения в конце кабеля (крива 2, рис. 4) и форма вольт-амперной характеристики, показанной на рис. 5, указывают, что кабель, намотанный на барабан, имеет значительную индуктивность. Эта индуктивность с емкостью кабеля относительно корпуса барабана (которая имеет незначительную величину), представляет колебательный контур с определенной частотой собственных колебаний. Поэтому часть кабеля, намотанная на барабан, может рассматриваться в виде сосредоточенной индуктивности.

На рис. 6 представлены осциллограммы вольт-амперной характеристики и волны напряжения в начале кабеля 3,0 кв для случая частич-

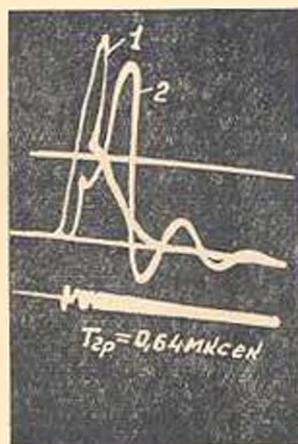


Рис. 4. Осциллограммы волны напряжения и вольтамперной характеристики в начале (1) и в конце (2) 1,0 кв кабеля, намотанного на барабан.

ной катушки его на барабан (230 м кабеля лежало на земле, а 260 м было намотано на барабан).

Как видно из вышеприведенных осциллограмм, волна отражается от сосредоточенной индуктивности кабеля (точка „А“ на кривой 1, рис. 6), намотанного на барабан. В пределе, вследствие этого отражения, возможно удвоение амплитуды импульсной волны на жилах кабеля [5].

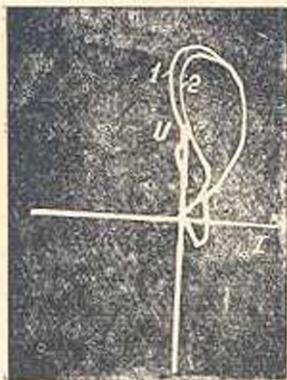


Рис. 5. Осциллограммы вольт-амперной характеристики кабеля 1,0 кв, намотанного на барабан, при разомкнутом (1) и короткозамкнутом его конце (2).



Рис. 6. Осциллограммы волны напряжения в начале (1) и в конце (2) 3,0 кв кабеля (230 м кабеля лежит на земле, 260 м намотано на барабан). В точке А на кривой „1“ волна отражается вследствие индуктивности кабеля, намотанного на барабан.

В случае заземления одной из жил с двух сторон явление отражения от индуктивности барабана не наблюдается и кабель в целом можно рассматривать как объект, обладающий определенным полным сопротивлением. Это явление можно объяснить экранирующим действием заземленной жилы. На рис. 7 приведены осциллограммы напряжения в начале кабеля для трех положений его конца (короткозамкнутое $R_{c2} = 0$ — кривая 2, со включением согласующего сопротивления $R_{c2} = Z_0$ — кривая 3 и изолированное от земли $R_{c2} = \infty$ — кривая 1).

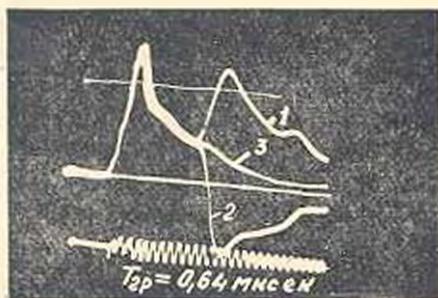


Рис. 7. Осциллограммы волны напряжения в начале 3,0 кв кабеля, когда нулевая жила с двух сторон заземлена (230 м кабеля лежит на земле, 260 м намотано на барабан). Волны „1“, „2“ и „3“ соответствуют разомкнутому, короткозамкнутому и согласованному концу кабеля.

Определение волновых параметров двигателя $\rho = 25$ кат, и $U = 1,0$ кв электротрактора типа ЭТЭ-25^а.

Опыты по определению волновых параметров двигателя проведены инж. А. П. Сивковым.

Обмотки электрических машин при воздействии на них аperiodических волн напряжения обладают, подобно однородной линии, волновыми свойствами. Такую обмотку можно в первом приближении характеризовать некоторыми волновыми параметрами. Значение этих параметров с учетом волновых параметров кабеля, имеет существенное значение при разработке схем грозозащиты двигателей, установленных на передвижных машинах.

Методика определения волновых параметров электродвигателя аналогична соответствующей методике опытов с кабелем [2, 3].

При определении волнового сопротивления двигателя опыты производились при волне $2,7/30$ мксек, $U = 600$ в, для одной, двух и трех фаз, соединенных в параллель. Для рассматриваемого случая оказалось, что $Z_{z1} = 1100$ ом, $Z_{z2} = 500$ ом и $Z_{z3} = 302$ ом. Как видно, $Z_{z2} < 1/2 Z_{z1}$ и $Z_{z3} < 1/3 Z_{z1}$.

Это характерно для большинства электрических машин, и является следствием взаимных связей между фазами, искажающих волновой процесс.

В реальных условиях работы передвижных машин сопротивление „корпус—двигатель—земля” — R_{zm} изменяется [1] в широких пределах. Эквивалентное волновое сопротивление передвижной машины (Z_{zm} последовательно с R_{zm}) изменяется в зависимости от величины сопротивления заземления передвижной машины, т. е. от степени влажности и состояния поверхности грунта (рис. 8). Например, сопротивление заземления гусеничного трактора, т. е. контактное сопротивление гусениц трактора с землей, меняется в пределах от 10 до 200 ом, в зависимости от состояния грунта. Поэтому интересно выяснить влияние сопротивления заземления корпуса двигателя на его эквивалентное волновое сопротивление.

В результате опытов выяснено, что с увеличением сопротивления заземления корпуса эквивалентное волновое сопротивление двигателя увеличивается. В частности, при $R_{zm} = 10, 100$ и 300 ом Z_{z3} соответственно получается равным 332, 407 и 590 ом. Поскольку волновое сопротивление кабеля Z_k значительно меньше волнового сопротивления двигателя Z_{z3} , то увеличение волнового сопротивления двигателя Z_{z3} за счет введения R_{zm} не существенно влияет на величину перенапряжения в его обмотках, а при учете коэффициента связи кабеля $K_{св}$ эти перенапряжения будут еще меньше [2].

Из сказанного следует, что наиболее опасным для изоляции является случай, когда $R_{zm} = 0$, и поэтому в дальнейшем опыты производились при $R_{zm} = 0$.

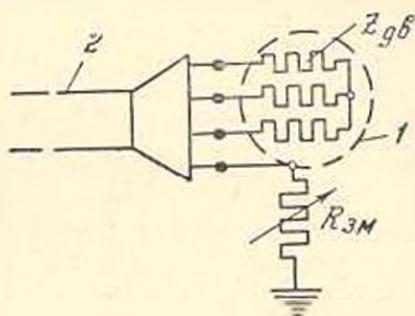


Рис. 8. Эквивалентная схема передвижной машины. 1—корпус двигателя; 2—кабель.

Данные по определению средней скорости распространения волны $V_{ср}$ по трем фазам обмотки приведены в таблице 3.

Таблица 3

Параметры волны $I_{ф}/I_{н}$ мксек/мксек	Время двойного пробега $2T$ мксек	Средняя скорость распространения волны $V_{ср}$ м/мксек
0,5/9	1,1	245
1,1/6	1,3	210
2,7/30	1,5	184

Как видно из таблицы, с уменьшением $I_{ф}$ скорость распространения волны по обмотке двигателя несколько увеличивается. Это происходит из-за уменьшения индуктивности обмотки, вследствие уменьшения глубины проникания магнитного потока в железо статора при крутом фронте волны.

Данные значений затухания $\tau_{дл}$ и деформации волны в обмотке двигателя $K_{дл}$ для различных параметров волны приведены в табл. 4.

Таблица 4

Параметры волны $I_{ф}/I_{н}$ мксек/мксек	$\tau_{дл}$	$K_{дл}$
0,5/9	0,527	0,30
2,7/30	0,887	0,40

Как видно из таблицы 4, чем круче фронт волны и чем короче она, тем сильнее проявляются явления затухания и деформации фронта волны. Это объясняется тем, что в случае более крутых и коротких волн максимум их частотного спектра двигается в сторону более высоких частот. При этом резко растут потери в стали и в несколько меньшей степени диэлектрические потери в изоляции обмотки.

Существенно отметить, что затухание при волне 2,7/30 мксек, (наиболее близкой по параметрам к волнам ожидаемых грозозных перенапряжений) сравнительно невелико, что делает нейтраль двигателя наиболее опасной точкой схемы.

З а к л ю ч е н и е

Произведенные измерения при различных условиях работы неэкранированного кабеля показали, что коэффициенты связи между тремя рабочими и нулевой жилами сильно зависят от условий работы кабеля. Для обеспечения условий грозозащиты от атмосферного перенапряжения, расчетным следует считать случай распространения волны по полностью размотанному и лежащему на земле кабелю при параллельном соединении всех его жил. При этом в качестве расчетных величин коэффициента связи между рабочими жилами и нулевой жилой можно считать $K_{сх} \geq 0,8$.

Произведенные измерения показали, что часть кабеля, намотанного на барабан, можно рассматривать в волновом процессе как со-

средоточенную индуктивность. От этой индуктивности волна отражается и в пределе возможно удвоение импульсного напряжения на жилах кабеля относительно земли.

Наиболее опасным случаем для двигателя является приход волны по трем фазам, при весьма малом сопротивлении заземления передвижной машины $R_{зм}$. В этом случае получается значительное повышение напряжения на главной изоляции нейтрали по сравнению с напряжением в начале обмотки. Поэтому в качестве расчетных параметров двигателей можно принимать данные, полученные при измерениях, для случая когда $R_{зм} = 0$.

В качестве расчетных волновых параметров двигателя электропактора ЭТЭ-25 ($P = 25 \text{ квт}$, $U = 1140 \text{ в}$), определенных экспериментально при волне $t_{\lambda}/t_{\lambda 0} = 2.7/30 \text{ мксек/мксек}$, рекомендуется принять: эквивалентное волновое сопротивление двигателя $Z_{\lambda 3} = 300 \text{ ом}$; время двойного пробега волны $2T_{\lambda 0} = 1,5 \text{ мксек}$; среднюю скорость распространения волны по обмотке $V_{\text{ср. об}} = 180 \text{ м/мксек}$; коэффициент затухания амплитуды волны по обмотке $\tau_{\lambda 0} \leq 0,9$; коэффициент деформации фронта $K_{\lambda 0} \leq 0,4$.

Автор считает своим долгом выразить глубокую благодарность профессору М. В. Костенко за ценные указания. Автор благодарит также И. А. Козырева, А. П. Сивкова и Л. С. Кротмана за оказанную помощь в проведении экспериментов.

Лаборатория электротехники
АН Армянской ССР

Поступило 15 2 1957

Մ. Մ. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ

ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆԱՅՎԱԾ ՏԵՂԱՓՈՒՆԵՐԻ ՏԵՂԱԿԱՅՈՒՄՆԵՐՈՒՄ ԱՆՎՈՅՈՒՆ
ԵՐԵՎՈՒՅՔՆԵՐԻ ՄԻ ՔԱՆԻ ՀԱՐՑԵՐ

Ա մ փ ո փ ո ս մ

Կերպարումների չափը էլեկտրականացված տեղափոխելի տեղակայումների գանազան էլեմենտներում, երբ այդ տեղակայումները սնվում են առանց զրահի ճկուն կարեկներով, կախված է նշված կարելի և տեղակայման էլեմենտների ալիքային պարամետրերից:

Առանց զրահի կարելի ալիքային պարամետրերի նարքը լուսարանվել է նախկինում [1, 2]: Սակայն ալիքային երևույթների ուսումնասիրումը պահանջում է որոշել նաև՝

- 1) կարելի կապի գործակիցը նրա ջիղերի միջև;
- 2) կարելի ղերը ալիքային պրոցեսում, երբ նա փաթաթված է կարելային թմբուկի վրա:

3) Հլեկտրական շարժիչների ալիքային պարամետրերը:

Շարժիչների ալիքային պարամետրերի տեսական որոշման մի քանի փորձերը զործնական կիրառում չեն գտել: Այդ իսկ պատճառով այժմ շարժիչների ալիքային պարամետրերը որոշում են փորձերի միջոցով, չափվածում նշված փորձերը կատարվել են՝

1) երկու տեսակի տասնյգ զրանի ճիւղն կարելիների վրա.

ա) կարելի 1,0 կվ, 4×10 մմ², բ) կարելի 3,0 կվ, $3 \times 2,5 + 3 \times 2,0$ մմ²,

2) Հլեկտրական շարժիչի վրա ($P=25$ կվտ, $U=1,14$ կվ), որն օդաազործվում էՅԵ-25 տիպի Հլեկտրատրակտորի մեջ, կատարված փորձերը ցույց են տվել նետևյալը.

1) Առանց զրանի ճիւղն կարելի կապի զործակիցը նրա բանվորական և զրոյական ջիղերի միջև կարող է փոփոխվել մեծ սահմաններում՝ կախված կարելի աշխատանքի պայմաններից: Ընդհանուր առմամբ, կապի զործակիցի նաշվային մեծությունը նրա բանվորական և զրոյական ջիղերի միջև կարելի է բնորոշել $> 0,8$.

2) Ալիքային պրոցեսների ուսումնասիրման ժամանակ իմբուկի վրա փախախված կարելի կարելի է գիտել որպես կենտրոնացված ինդուկտիվություն, որից բարձր լարման ալիքը անդրադառնալով սահմանային դեպքում կարող է կրկնապատկվել:

3) Հլեկտրական շարժիչի նամար ամենավտանդալոր դեպքն այն է, երբ բարձր լարման ալիքը տարածվում է նրա երեք Ֆադերով, իսկ անդափոխելի մեքոնայի նսղանցման դիմադրություն մեծությունը մինիմում է:

4) Փորձերի միջոցով որոշված է ՅԵ-25 տիպի Հլեկտրատրակտորի Հլեկտրական շարժիչի ($P=25$ կվտ, $U=1,14$ կվ) ալիքային պարամետրերը, երբ $R_{24}=0$, $t_{\Phi}/t_0=2,7/30$ մկվրկ, $U=600$ վ լարման տակ.

ա) շարժիչի երեք Ֆադերի ալիքային դիմադրություն $Z_{24}=300$ օմ:

բ) շարժիչի փաթույթում ալիքի տարածման կրկնավազքի ժամանակը $2T_{24}=1,5$ մկվրկ:

գ) շարժիչի փաթույթում ալիքի տարածման միջին արագությունը $V_{\text{եր.առ.}}=180$ մ/մկվրկ:

դ) շարժիչի փաթույթում ալիքի մարման զործակիցը $\chi_{24} \leq 0,9$:

ե) շարժիչի փաթույթում ալիքի ազավաղման զործակիցը $K_{24} \leq 0,4$:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Карапетян М. М. Возмозные характеристики гибких кабелей передвижных установок. Известия АН Арм. ССР, том X, № 3, 1957.
2. Отчет НИИ имени Казинина 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, 1964.
3. Отчет НИИ им. Казинина, Разработка методов исследования и предварительных исследования волновых параметров электрических машин. Ленинград 1954.
4. Сиротинский Л. И. Перенапряжения и защита от перенапряжений в электрических установках. Изд. ГЭИ, 1946.
5. Костюкко М. В. Атмосферные перенапряжения и грозозащита высоковольтных установок. Изд. ГЭИ, 1949.

ГИДРОЛОГИЯ

Մ. Ա. ՏԱԽԲԱԶՅԱՆ

ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ СУТОЧНЫХ
РАСХОДОВ ДЛЯ НЕИЗУЧЕННЫХ РЕК АРМЯНСКОЙ ССР

Рациональное использование водных ресурсов горных рек Армянской ССР, обеспечивающее правильное решение вопросов как энергетического, так и ирригационного характера, имеет существенное значение и развития народного хозяйства республики. Однако, слабая гидрологическая изученность водотоков, сложные физико-географические условия, своеобразные геологические условия Армении, а также недостаточная проработка методики расчета стока горных рек препятствуют решению ряда важнейших водохозяйственных вопросов. Этим отчасти объясняется тот факт, что такой актуальный вопрос, как вопрос о методике построения кривых обеспеченности суточных расходов для неизученных рек Армянской ССР, пока еще не исследован. Кривая обеспеченности суточных расходов может быть построена в обобщенном виде, т. е. путем расположения в убывающий ряд всех суточных расходов за весь период наблюдений от максимума к минимуму, и в виде средней кривой, построенной по средним значениям расходов воды различной обеспеченности (максимум 8, 25, 50, 75, 90%, и минимум), полученных по кривым обеспеченности за отдельные годы. Сопоставление средней и обобщенной кривой для ряда рек показало, что использование средних кривых для выявления типов кривых обеспеченности суточных расходов рек Армянской ССР можно считать вполне законным [7]

Применение средних кривых обеспеченности суточных расходов оправдывается тем, что в силу специфики местных условий все гидроэлектростанции, строящиеся в Армении, являются высоконапорными, деривационного типа с небольшими водохранилищами суточного регулирования, при проектировании которых ограничиваются знанием средних расходов, пропускаемых деривацией. На реках же равнинного типа строятся приплотинные гидроэлектростанции с водохранилищами, сооруженными с учетом максимальных расходов. Поэтому в этом случае необходимо знание особо высоких и особо низких расходов воды, значения которых точнее определяются с помощью обобщенной кривой обеспеченности. Таким образом, поскольку для наших построенных значений максимальных расходов не нужны, опасным местом в использовании средних кривыми обеспеченности суточных расходов являются минимальные расходы, для которых нужно делать либо

специальный анализ, либо, как предлагает Д. Л. Соколовский, получить минимум, путем экстраполяции с 90% обеспеченности до наименьшего расхода, с дальнейшим уточнением по реке—аналогу.

Для неизученных рек может быть применено то или иное аналитическое выражение кривых обеспеченности, которое должно удовлетворять ряду требований. Аналитическое выражение кривой обеспеченности должно быть настолько гибким, чтобы путем изменения числовых параметров можно было бы построенным кривым придавать различные формы, близко подходящие к существующим в природе формам кривых обеспеченности расходов. Количество параметров, подлежащих определению, должно быть минимальным и, наконец, должно быть соблюдено условие равенства единице площади графика обеспеченности. Кроме того, аналитическое выражение уравнения кривой должно быть таким, чтобы можно было, интегрируя его, получить в общем виде уравнение интегральной кривой использования стока. Из многочисленных формул, выражающих кривые обеспеченности суточных расходов, наибольшее распространение получили формулы М. А. Мосткова [3], И. М. Лившица [2], В. А. Урываева [7], В. Г. Андреев [1]. Из упомянутых авторов наиболее удачное уравнение предложил В. А. Урываев.

Это уравнение имеет следующий вид:

$$p = 1 - 10^{-c \left(\frac{k_{\max} - k}{k - k_{\min}} \right)^n} \quad (1)$$

или

$$k = \frac{k_{\max} - k_{\min}}{\sqrt[n]{\frac{-\lg(1-p)}{c} + 1}} \quad (2)$$

где p — обеспеченность, выраженная в долях от единицы;

k_{\max} — максимальная ордината или средний годовой максимум;

k_{\min} — минимальная ордината или средний годовой минимум;

k — расход в долях от среднего или модульный коэффициент;

c и n — параметры кривой.

Кривая, выраженная уравнением (1), теоретически не обоснована и служит исключительно в качестве эмпирической интерполяционной кривой. В отличие от кривых Пирсона, которые позволяют наряду с интерполяцией по данным наблюдений решать главным образом задачи экстраполяции переменных, т. е. нахождения редко повторяющихся значений ординат, по уравнению (1) экстремальные значения ординат k_{\max} и k_{\min} должны быть заданы.

Логарифмируя уравнение (1) дважды, получаем уравнение логарифмической анаморфозы:

$$\lg [\lg (1 - p)] = \lg c + n \lg \left(\frac{k - k_{\max}}{k_{\min} - k} \right).$$

представляющее собой уравнение прямой линии с осями координат:

$$\lg \frac{k_{\max} - k}{k - k_{\min}}.$$

Пользуясь этой анаморфозой, можно подобрать параметры c и n кривой обеспеченности.

Значение $\lg c$ определяется величиной отрезка, отсекаемого прямой анаморфозы на оси абсцисс, а значение n представляет собой $\operatorname{tg} \alpha$, где α — угол наклона прямой анаморфозы к оси ординат. По значениям k , вычисленным по формуле (2), можно построить кривую обеспеченности. Для построения средней кривой обеспеченности неизученных рек, на основании исследований зависимости c и n от различных факторов по 146 створам рек равнинной части Европейской территории СССР, Урываев дает формулы зависимости параметра c от площади водосбора. Для определения географических параметров, входящих в эту формулу, Урываев дает картограммы. Значение максимального расхода k_{\max} определяется по формуле Д. Л. Соколовского, а для среднего значения минимального расхода k_{\min} Урываевым составлена картограмма минимальных модулей стока. Следовательно, по указанным расчетным формулам и картограммам могут быть определены величины параметров уравнения c , n , k_{\max} и k_{\min} и подсчитаны ординаты средней кривой обеспеченности неизученной реки. Уравнения Урываева были применены по отношению к некоторым исследованным рекам Армении, которые принимались за неизученные.

Кривые обеспеченности были построены по известным значениям k_{\max} и k_{\min} и подобранным с помощью логарифмической анаморфозы параметрам c и n , которые для рассмотренных рек соответственно колеблются в пределах от 0,126 до 0,63 и от 0,645 до 1,21. Применение указанных уравнений к данным непосредственных наблюдений на реках Армянской ССР приводит к выводу, что эти уравнения, как правило, хорошо согласуются с фактическими данными, причем кривые различных рек отличаются друг от друга параметрами уравнений. При этом, средняя ошибка составляет 7%, максимальная достигает до 38,5% (р. Дзорагет, $p = 0,08$). Существенным недостатком рассмотренного метода является по мнению В. Г. Андреенова неравенство величины площади кривой обеспеченности единице, а также неясность физического смысла параметров c и n . Для устранения этих недостатков В. Г. Андреенов добавил параметр, характеризующий кривую, а именно коэффициент естественной зарегулированности стока $\varphi = \varphi(1)$, представляющий собой площадь кривой обеспеченности до $k = 1,0$. Следовательно, параметрами, характеризующими кривую $k = f(p)$ и имеющими ясный гидрологический смысл, являются k_{\max} , k_{\min} и $\varphi(1)$. Параметры же c и n остаются вспомогательными

параметрами, определяемыми по составленным Андреяновым расчетным намограммам в зависимости от φ (1) и значения

$$Y_{\text{ср}} = \frac{1 - k_{\text{мин}}}{k_{\text{мак}} - k_{\text{мин}}},$$

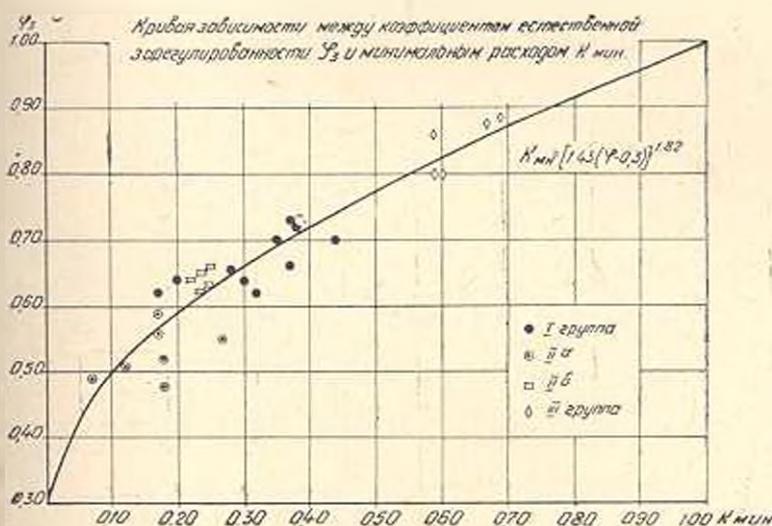
которое он называет коэффициентом неравномерности кривой обеспеченности расходов. При заданных значениях $k_{\text{мак}}$ и $k_{\text{мин}}$, а следовательно и $Y_{\text{ср}}$ значения ϵ и λ находятся между собой в определенной однозначной зависимости, обусловленной обязательным условием равенства единице полной площади кривой обеспеченности, поэтому не могут устанавливаться независимо друг от друга. Расчеты по рассматриваемому методу применительно к некоторым рекам Армянской ССР показали хорошую сходимость при средней ошибке, равной 4,3% и максимальной ошибке 17,1% (р. Гехарот—с. Арагац $p = 0,75$). Таким образом, метод выравнивания кривых обеспеченности суточных расходов Урываева с уточнениями и дополнениями Андреянова, как наиболее гибкий и удовлетворяющий всем возможным типам кривых обеспеченности суточных расходов, может быть рекомендован для расчета этих кривых для условий Армянской ССР. Исходными данными, послужившими для анализа кривых обеспеченности суточных расходов рек Армянской ССР, являются материалы наблюдений на 21 реке и 27 створах за период не менее 10—15 лет. На основании этих данных были выбраны главные реки республики, а также некоторые значительные притоки, более или менее характерные для своего района. Характерной особенностью рек Армянской ССР является различная степень их зарегулированности. Это объясняется разнообразными условиями питания горных водотоков, а также своеобразным геологическим строением некоторых речных бассейнов Армении, сложенных сильно трещиноватыми андезитобазальтами, чередующимися с водоупорными туфами и туфобрекчиями. В качестве универсальной гидрологической характеристики, позволяющей сравнивать отдельные водотоки, принят предложенный Д. Л. Соколовским [4] коэффициент естественной зарегулированности, который для рек Армении колеблется в пределах 0,45—0,85 с небольшими отклонениями в ту или другую сторону. Принимая за исходный параметр коэффициент естественной зарегулированности φ_0 и установив по нему тип реки, представляется возможным разбить территорию Армении на отдельные районы, реки которых имеют определенную степень зарегулированности, характеризующую соответствующей кривой обеспеченности суточных расходов [8]. По признаку зарегулированности все реки Армении разбиты на 3 категории [5]: I — слабозарегулированные — $\varphi_0 < 0,60$, II — среднезарегулированные — $\varphi_0 = 0,60—0,75$ и III — сильнозарегулированные $\varphi_0 > 0,75$.

Анализ кривых обеспеченности суточных расходов рек Армянской ССР позволил установить достаточно тесную зависимость φ_0 от минимального расхода или минимальной ординаты $k_{\text{мин}}$, которая зако-

вомерно изменяется при переходе от одной группы к другой, повышаясь с увеличением φ_3 . Для первой группы рек с незарегулированным режимом $k_{\text{мк}}$ колеблется в пределах 0,10—0,20 с незначительными отклонениями в ту или другую сторону. Для второй группы рек со средней зарегулированностью φ_3 повышается, становясь равной от 0,30 до 0,40—0,45 и, наконец, для сильно зарегулированных рек, характеризующихся высокой меженью, величина φ_3 колеблется в пределах 0,60—0,70. Исследованием зависимости $k_{\text{мк}} = f(\varphi_3)$ установлено, что величина $k_{\text{мк}}$ имеет тесную связь с коэффициентом естественной зарегулированности, которая аналитически может быть выражена в виде:

$$\varphi_3 = 0,30 + 0,70 k_{\text{мк}}^{0,51}, \text{ или в явном виде}$$

$$k_{\text{мк}} = [1,43 (\varphi_3 - 0,3)]^{1,23} \text{ (фиг. 1).}$$

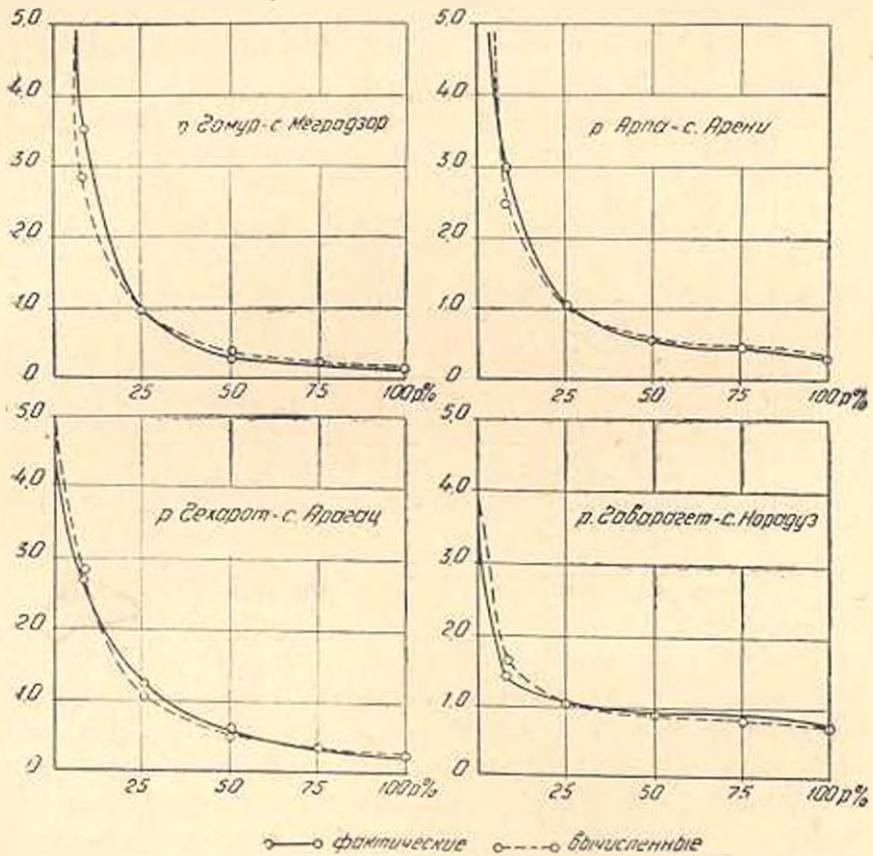


Фиг. 1.

Второй параметр $k_{\text{мк}}$ незначительно влияет на форму кривой обеспеченности, и особенно это влияние незначительно в средней части кривой. В изменении $k_{\text{мк}}$ от одной группы рек к другой также наблюдается некоторая, хотя и значительно менее ярко выраженная закономерность. Так, в первом приближении замечается тенденция к уменьшению значения $k_{\text{мк}}$ с увеличением φ_3 .

Если для первой группы рек значение $k_{\text{мк}}$ колеблется в пределах 7,0—15,0, равняясь в среднем 10,0, то для рек последней группы $k_{\text{мк}}$ не превосходит 5,0 ($k_{\text{мк.ср}} = 3,82$). Среднее значение $k_{\text{мк}}$ для рек II группы колеблется около 6,0. Метод расчета кривых обеспеченности суточных расходов для неизученных рек состоит в следующем: по схематической карте районирования рек Армянской ССР [8] в зависимости от типа кривых обеспеченности определяется значение коэффициента естественной зарегулированности φ_3 . По кривой $k_{\text{мк}} = f(\varphi_3)$

определяется значение $k_{\text{мн}}$, которое уточняется по реке—аналогу, близко подходящей к исследуемой реке по своим физико-географическим условиям, размерам площади водосбора и пр. Значение $k_{\text{мн}}$ берется как среднее значение для данной группы рек и тоже уточняется по реке—аналогу. Имея 3 параметра: $k_{\text{мак}}$, $k_{\text{мн}}$ и φ_2 , можно построить кривую обеспеченности по способу Урываева—Андреянова. Сопоставление ординат кривых обеспеченности суточных расходов фактических и вычисленных по указанной методике для рек Армянской ССР, находящихся в самых разнообразных физико-географических условиях показало, что среднее расхождение по ординатам всех расчетных обеспеченностей составляет $\pm 12,4\%$ при наибольшей ошибке, равной $\pm 13,8\%$. Из 108 ординат для 76 ординат расхождение не превы-



Фиг. 2. Сопоставление ординат средней кривой обеспеченности суточных расходов.

шает 16% , для 21 ординаты оно находится в пределах от 16 до 25% , в шести случаях ошибка составляет 25 — 30% , и, наконец, в 5 случаях расхождения достигают 30 — 45% и больше.

Наиболее значительные отклонения ординат от средней дает I-я группа. Это объясняется тем, что к упомянутой группе отнесены реки, соответствующие данной группе по величине своего коэффициента естественной зарегулированности, а по величине ординат (особенно

минимальных), подходящие ко II группе (Далар, Аргичи, Веди). Поэтому механический подход к пользованию кривой $k_{\min} = f(\varphi_2)$ может привести к более существенным ошибкам, в то время, как, учитывая параллельно с этим специфику данного района и режим реки-аналога, можно избежать этого, сведя расхождения до минимума.

На фиг. 2 приводится сопоставление ординат кривых обеспеченности суточных расходов для некоторых рек Армянской ССР фактических и вычисленных по предложенной методике.

При проектировании ирригационных сооружений большое значение имеют кривые обеспеченности за вегетационный период. Этот период был установлен с 1-го апреля по 1-ое ноября и на основе этого были проведены аналогичные расчеты для периода вегетации. В этом случае расхождение вычисленных по методу Урываева—Андреянова величин с фактическими получилось более значительным: средняя ошибка составляет — 13,1% (при максимальном значении ее 30,6% для р. Ариа, Арени при $p = 0,50$). Таким образом, метод Урываева—Андреянова может быть применен и для расчетов кривых обеспеченности суточных расходов за вегетационный период.

В ы в о д ы

1. Проведенный анализ существующих формул и их применимость к выравниванию кривых обеспеченности суточных расходов показал, что наиболее пригодным для выражения кривых обеспеченности суточных расходов рек Армянской ССР является метод В. А. Урываева с уточнениями и дополнениями В. Г. Андреянова.

2. Установлена связь между коэффициентом естественной зарегулированности φ_2 и минимальной ординатой кривой обеспеченности k_{\min} в виде:

$$k_{\min} = [1,43(\varphi_2 - 0,3)]^{1,82}$$

и разработана методика построения кривых обеспеченности суточных расходов для неизученных рек Армянской ССР.

Водно-энергетический институт

АН Армянской ССР

Поступило 24 X 1956

Շ. Ա. ՇԱՆՔԱԶՅԱՆ

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՏԻ ԶՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՎԱԾ ԳԻՏՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐ ՕՐԱԿԱՆ
ԵՂՔԵՐԻ ԱՊԱՀՈՎՎԱԾՈՒԹՅԱՆ ԿՈՐԵՐԻ ԿԱՌՈՒՅՈՒՄԸ

Ա Մ Փ Ո Փ Ն Ա Մ

Հոգիվածուժ քննարկվում են Հայկական ՍՍՏ չուսումնասիրված
գետերի համար օրական Էլքերի ապահովվածություն կորերի կառուցման
հարցերը

4. Изв. ТН. № 4.

Այդ կորերի հաշվարկման հիմքում դրված է օրական էլքերի ապահովվածություն կորերի ψ . Ա. Առիվաբեի ուղղման եղանակը, հաշվի առնելով ψ . Գ. Անդրեսնովի ճշտումներն ու լրացումները, որ հնարավորություն է տալիս կատուցել ապահովվածության կորերը էլնելով երեք պարամետրերից՝

k_{max} առափնևազույն օրդինատից, կամ միջին տարեկան մաքսիմումից, k_{min} նվազագույն օրդինատից, կամ միջին տարեկան մինիմումից և հոսքի բնական կանոնավորման φ_3 գործակիցից, որն իրենից ներկայացնում է ապահովվածության կորի մակերեսը մինչև $k = 1,0$:

Հայկական ՍՍՏ գետերի օրական էլքերի ապահովվածության կորերի վերլուծման համար կլակետային տվյալներ են հանդիսացել 21 գետերի վրա 27 կայաններում կատարված դիտումների նյութերը 10—15 տարուց ոչ պակաս ժամանակամիջոցում:

Այդ տվյալների հիման վրա բնորոշել են ռեսպոնսիվայի գլխավոր գետերը, ինչպես նաև որոշ նշանակալի վտակներ, որոնք ճնորոշ են իրենց շրջանների համար:

Որպես բնդհանրական հիդրոլոգիական բնութագիր, որ թույլ է տալիս համեմատել առանձին գետեր, բնդունված է Գ. Լ. Սոկոլովսկու կողմից առաջադրված բնական կանոնավորման φ_3 գործակիցը, որը Հայկական ՍՍՏ գետերի համար տասանվում է 0,45—0,85 սահմաններում, փոքր շեղումներով այս կամ այն կողմ:

Ըստ կանոնավորման հատկանշի, Հայկական ՍՍՏ բոլոր գետերը բաժանված են երեք խմբերի՝

- 1) թույլ կանոնավորված, երբ $\varphi_3 < 0,60$,
- 2) միջին կանոնավորված, երբ $\varphi_3 = 0,60 - 0,75$,
- 3) ուժեղ կանոնավորված, երբ $\varphi_3 > 0,75$:

Հայկական ՍՍՏ գետերի օրական էլքերի վերլուծումը թույլ տվեց սահմանել φ_3 -ի բափականին սերտ կապը նվազագույն էլքից կամ k_{min} նվազագույն օրդինատից, որն օրինաչափորեն փոփոխվում է մեկ խմբից մյուսին անցնելիս և աճում է φ_3 -ի մեծանալուն զուգընթաց:

$k_{\text{min}} = f(\varphi_3)$ կախման հետազոտությունը սահմանված է, որ k_{min} մեծությունը սերտ կապ ունի բնական կանոնավորման գործակիցի հետ. այդ կապն անալիտիկորեն կարող է արտահայտվել հետևյալ ձևով՝

$$\varphi_3 = 0,30 + 0,70 k_{\text{min}}^{0,55}$$

կամ $k_{\text{min}} = |1,43 (\varphi_3 - 0,3)|^{1,82}$

k_{min} պարամետրը աննշան է ազդում ապահովվածության կորի ձևի վրա և այդ ազդեցությունը թույլ է արտահայտված կորի միջին մասում:

Չուսումնասիրված գետերի համար օրական էլքերի ապահովվածության կորերի հաշվարկման եղանակը կայանում է նետեյալում: Ըստ Հայկական ՍՍՏ գետերի շրջանացման սխեմատիկ քարտեզի ընտրվում է բնական կանոնավորման φ_3 գործակիցի մեծությունը՝ կախված ապահովվածության կորի տիպից: Ըստ φ_3 -ի, $k_{\text{min}} = f(\varphi_3)$ կորից որոշվում է k_{min} մեծությունը. վերջինս ճշտվում է գետ-անալոգի միջոցով, որն իր ֆիզիկա-

աշխարհագրական պայմաններով ջրահավաքի մակերևաի չափերով և այլն, մոտենում է ուսումնասիրվող գետին: Գետերի տվյալ խմբի համար $K_{\text{ս}}$ մեծությունը վերցվում է որպես միջին և նույնպես ճշտվում է ըստ գետանալոգի: Անենալոգի երեք պարամետրեր՝ $K_{\text{ս}} \cdot S$, $K_{\text{ս}} \cdot S^2$ և Q_2 -ն, կարելի է կառուցել ապահովվածության կորը՝ ըստ Առոիվան-Անդրեանովի եղանակի:

Փրիլիկա-աշխարհագրական խիտ տարրեր պայմաններում գտնվող Հայկական ՍՍԻ-ի գետերի համար իրական և ըստ վերոհիշյալ մեթոդիկայի կառուցված օրական ելքերի ապահովվածության կորերի օրդինատների համեմատումը ցույց տվեց, որ միջին սխալը, ըստ հաշվարկումային ապահովվածությունների օրդինատների, կազմում է $\pm 12,4\%$, ըստ որում առափելագոյն սխալը հավասար է $\pm 13,8\%$:

108 օրդինատներից 76-ի համար սխալը չի անցնում 16% -ից, 21-ի համար՝ տատանվում է 10% -ից 25% -ի սահմաններում, 9-ի համար՝ կազմում է $25-30\%$ և միայն 5-ի համար՝ հասնում է $30-45\%$ -ի և ավելի:

Առոիվան-Անդրեանովի եղանակը կարելի է կիրառել նաև օրական ելքերի ապահովվածության կորերի հաշվարկումների համար վեգետացիայի ժամանակաշրջանում: Այդ զեպքում միջին սխալը կազմում է $13,1\%$, իսկ առավելագույնը՝ $30,6\%$ (Արենի կայանում, Արփա գետի վրա, $p = 50\%$ զեպքում):

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреева В. Г. Построение кривых обеспеченности суточных расходов и кривых использования стока при отсутствии наблюдений. Тр. ГИИ, вып. 14 (68), Гидрометеониздат, 1949 г.
2. Лившиц И. М. Построение кривых обеспеченности суточных расходов воды. Тр. I-го совещания по регулированию стока. Изд. АН СССР, 1946 г.
3. Мостков М. А. Основы расчета гидросиловых установок, ч. 1. Тифлис, 1934 г.
4. Соколовский Д. Л. Речной сток. Гидрометеониздат, 1952 г.
5. Торгомян М. С. Характеристика водных ресурсов горных рек с точки зрения их энергетического использования.
6. Торгомян М. С. Водноэнергетические характеристики незарегулированных деривационных ГЭС, входящих в гидроэнергосистему. Автореферат, канцл. диссертации, г. Ереван, 1953 г.
7. Урываев В. А. Обеспеченность расхода в году рек Евронейской части СССР. Тр. НИУ ГМС, сер. IV, вып. 2, Гидрометеониздат, 1941 (224).
8. Шахбазян Ш. А. К типизации кривых обеспеченности среднесуточных расходов рек Армянской ССР. Известия АН Арм. ССР, т. IX, № 10, 1956 г.

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

М. Г. МАНВЕЛЯН, А. Ф. МЕЛИК-АХНАЗАРЯН, К. А. КОСТЯНИН,
 С. О. НАЛЧАДЖЯН

О ПРИЭЛЕКТРОДНОМ СЛОЕ СТЕКЛА В СТЕКЛОВАРЕННЫХ
 ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЕЧАХ

В некоторых работах по электрическим печам варки стекла с охлаждаемыми металлическими электродами указывается о существовании так называемого „гарниссажа“ — „пленки... сравнительно холодной стекломассы“, которая является — „дополнительным поглотителем напряжения“ [1], „холодной, вязкой стекломассы, как бы коркой, покрывающей электроды“ [2], „пленки приотставшей стекломассы“, в котором имеет место дополнительное падение напряжения, составляющего 30%, от общего напряжения [2, 3].

Определение понятия „гарниссажа“ по вышеприведенным литературным источникам не дает ясного представления о природе указанного слоя. С целью изучения состояния приэлектродного слоя стекла, нами в двух полупромышленных печах электротоварки стекла Химического института АН Арм. ССР были произведены электрические, температурные и тепловые замеры, связанные с работой электрода.

Размеры электрода показаны на рис. 1. Через электрод пропускался ток порядка 600А. С наружной стороны электрод охлаждался воздухом и имел температуру $\approx 860^\circ\text{C}$ при средней толщине головки электрода 8,5 см. Температура стекломассы на расстоянии 1—2 см от рабочей поверхности электрода составляет 1210°C , а на расстоянии 10 см от электрода — 1270°C . Потери от электрода через охлаждающий воздух и излучение, по произведенным замерам составляет 7800 ккал/час. Это количество энергии передается от горячей стекломассы через слой стали средней толщиной 8,5 см и поверхностью $40 \times 20 = 800 \text{ см}^2$.

По формуле теплопередачи

$$t_1 = \frac{Q}{\lambda} \frac{l}{S} + t_2$$

где S — среднее сечение теплового потока, l — среднее расстояние

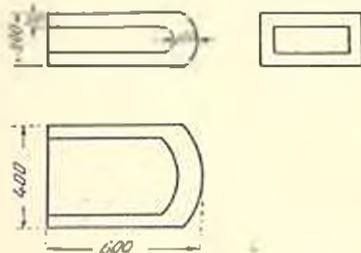


Рис. 1. Схема электродов.

между рабочей поверхностью и охлаждаемой поверхностью электрода, t_1 — температура рабочей поверхности электрода, t_2 — температура охлаждаемой поверхности электрода, λ — теплопроводность жаростойкой стали, равная, при температурах $\sim 1200^\circ\text{C}$ $\lambda = 0,24$ ккал/см \cdot С час, Q — потери тепла в ккал.

$$t_1 = \frac{7800}{0,24} \times \frac{8,5}{8,0} + 860 = 1206^\circ\text{C}.$$

При толщине головки стального электрода 20 см (как это имеет место в электропечах Ереванского стеклотарного завода и завода резинотехнических изделий), при тех же потерях и той же температуре рабочей поверхности электрода (1206°C), температура на охлаждаемой поверхности электрода будет

$$t_2 = 1206 - \frac{7800}{0,30} \cdot \frac{20}{800} = 556^\circ\text{C}.$$

Из изложенного видно, что температура на рабочей поверхности электрода, рассчитанная по данным теплотерь, и действительная температура стеклолассы на расстоянии 1—2 см от электрода, в пределах ошибки опыта, совпадают.

Как известно, удельное сопротивление стекла является функцией температуры и состава и, следовательно, существование приотсыхающего стекла — «гарниссажа» на поверхности электрода резко отразилось бы на кривой падения напряжения приэлектродного слоя.

Для изучения падения напряжения в приэлектродном слое нами был сконструирован прибор, схема которого показана на рис. 2. Прибор состоит из зонда, укрепленного на оси барабана «б», который вращался в соответствии с движением зонда, и круглого потенциометра «р», укрепленного на оси барабана. Пружина «м» через рычаг «к» плотно прижимает конец зонда «з» к поверхности электрода. Прибор приводится в действие с помощью нити, намотанной на барабан и закрепленной одним концом к рычагу «к» зонда, а другим — к грузу. Пружина «м» держит нить всегда натянутой. При опускании груза барабан вращается, зонд поворачивается вокруг оси 0—0 при этом его конец отходит от электрода.

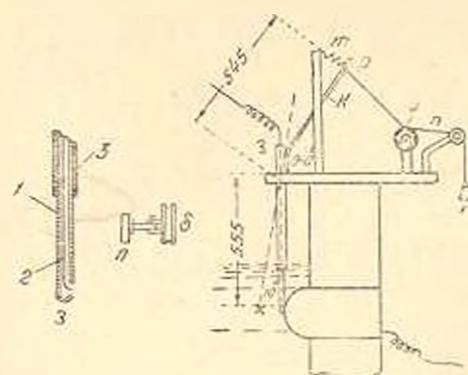


Рис. 2. Схема прибора для измерения падения напряжения в приэлектродном слое. 1—кварцевая трубка; 2—зонд; 3—стальной чехол.

На магнитоэлектрическом осциллографе записывается напряжение между зондом и электродом и одновременно напряжение потен-

циала между зондом и электродом и одновременно напряжение потен-

диометра, пропорциональное повороту барабана и величине перемещения конца зонда от электрода.

Электрическая схема показана на рис. 3. Напряжение, измеряемое вибратором — V является функцией от R_1 , R_2 и V_0 и выражается формулой:

$$V = V_0 \frac{R_1 R_2}{R_1 R_2 - R_i + R_2 R_0} \quad (1)$$

Во время опыта R_2 , R_0 и V_0 являются постоянными величинами ($R_2 = 10000$ ом, $R_0 = 39500$ ом, $V_0 = 34,7$ в);

$$V = 34,7 \frac{R_1}{\frac{R_1}{39500} (10.000 - R_1) + 10.000}; \quad (2)$$

R_1 пропорционален углу вращения барабана, на котором укреплен потенциометр, а следовательно, величине перемещения зонда. Если через S обозначить расстояние зонда от электрода, то:

$$R_1 = \frac{10000}{106,2} S. \quad (3)$$

Подставляя значения R_1 в формулу, получим:

$$V = 34,7 \frac{S}{0,253 S (1 - S) + 106,2} \quad (4)$$

Как показала градуировка осциллографа, между амплитудой луча и напряжением V существует следующая зависимость:

$$V = 1,21 I. \quad (5)$$

Из формул (4) и (5) имеем

$$S = 53,1 \left[\left(1 - \frac{112,5}{I} \right) + \sqrt{\left(1 - \frac{112,5}{I} \right)^2 + 15,8} \right]. \quad (6)$$

Формула (6) показывает зависимость между расстоянием зонда от электрода и амплитудой луча на осциллограмме.

Напряжение на зонде определяется по осциллограмме и соответствующей градуировочной кривой.

Перед измерением конец зонда плотно прижимается к электроду, а потенциометр приводится к нулевому положению. Осциллограмма снимается при быстром движении зонда. Конец зонда движется по окружности, но так как он вращается на угол не более (рис. 2):

$$\alpha = \frac{10}{2\pi \times 55,5} \times 360 = 10,4^\circ,$$

его траекторию можно считать прямой линией.

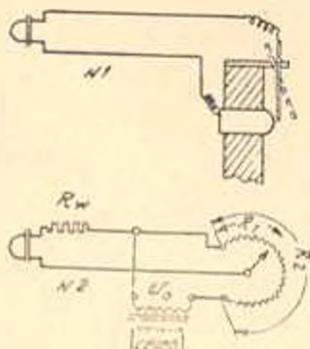


Рис. 3. Схема присоединения к осциллографу. № 1 вибратор для измерения прикладного напряжения; № 2 — вибратор для определения расстояния зонда электрода. R_w — сопротивление 30000 ом.

На рис. 4 и 5 показаны кривые, полученные обработкой осциллограмм при температуре охлаждаемой поверхности электрода 850°C и при 1020°C , соответствующей прекращению искусственного охлаждения электродов.

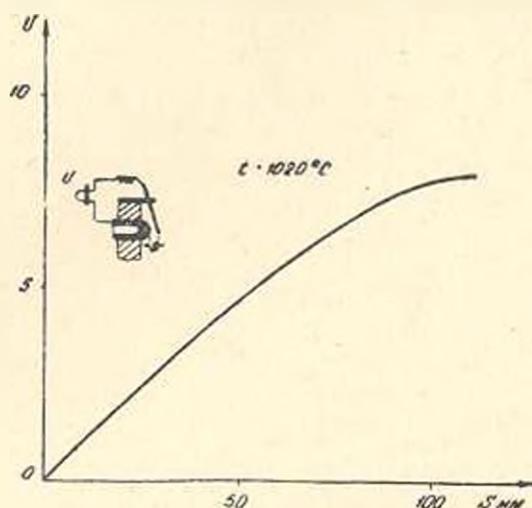


Рис. 4. Результаты обработки осциллограмм при температуре наружной части электродов 1020°C .

но из рис. 4 и 5, резких изменений крутизны кривой, указывающих на наличие „гарниссажа“, не имеется.

Повышение градиента напряжения в сторону электрода, имеющего поверхность меньшего сечения ванны, является следствием не только понижения температуры стекломассы около электрода, а, в основном, сгущением линий тока около электрода.

Для выяснения роли каждого из этих факторов в повышении градиента напряжения в приэлектродном слое рассмотрим ход падения напряжения вблизи электрода если принять, что удельное сопротивление стекла остается постоянным.

Применяемые нами электроды имеют неправильную геометрическую форму. Выступающая их часть по форме эллипсоид, а базис — прямоугольной формы.

В приближенных расчетах было принято, что электрод является эллипсоидом с поверхностью равной величине его истинной поверх-

ности. Кроме того, при $T_{\text{н}} = 1020^{\circ}\text{C}$ снята кривая падения напряжения под углом 30° от продольной оси печи (рис. 6).

Во всех случаях градиент напряжения в сторону электрода возрастает. При $T_{\text{н}} = 850^{\circ}\text{C}$ напряжение на рабочей поверхности электрода более резко падает, чем при $T_{\text{н}} = 1020^{\circ}\text{C}$, что является следствием несколько более низкой температуры приэлектродного слоя стекла. Однако, как вид-

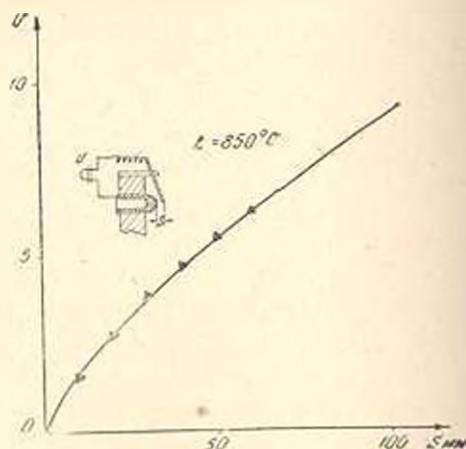


Рис. 5. Результаты обработки осциллограмм при температуре наружной части электродов 850°C . Треугольниками показаны результаты расчета.

ности, с эксцентриситетом соответствующий его ширине равной 40 см и высоте 20 см. В связи с тем, что удельное сопротивление стекла в 10^6 раз превышает удельное сопротивление электрода, его поверхность можно считать эквипотенциальной поверхностью.

Сопротивление между эллипсоидальным электродом и эллипсоидом на расстоянии по оси Y равной S выражается формулой:

$$R = \frac{3\rho}{2\pi} \frac{\sqrt{1-\varepsilon^2}}{3-\varepsilon^2} \cdot \frac{S}{b_1(b_1+S)} \quad (7)$$

где R — сопротивление стекломассы между электродом и эллипсоидом.

$\varepsilon = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}$ — эксцентриситет эллипсоидов, ρ — удельное сопротивление стекла, b — малая ось электрода. Напряжение на расстоянии S от электрода будет:

$$V = IR \quad (8)$$

или

$$V = \frac{3I\rho}{2\pi} \frac{\sqrt{1-\varepsilon^2}}{3-\varepsilon^2} \cdot \frac{S}{b(b+S)} \quad (9)$$

Поверхность эллипсоида определяется по формуле

$$P = b^2\pi \left(1 + \frac{\arcsin \varepsilon}{\varepsilon\sqrt{1-\varepsilon^2}} \right) \quad (10)$$

При эксцентриситете электрода соответствующему соотношению его истинной высоты к ширине мы имеем

$$P = 10,77 \cdot b^2.$$

Поверхность электрода по непосредственному измерению после остановки печи равна 1470 см^2 откуда $b = 11,7 \text{ см}$. Таким образом электрод принятый в основу расчета, имеет более плоскую форму, чем в действительности. Это приближение также приводит к менее резкому изменению градиента напряжения, в ущерб нашему заключению, что основной причиной увеличения градиента напряжения вблизи электрода является сгущение токовых линий.

По кривой (рис. 4) напряжение на расстоянии 5 см от рабочей поверхности электрода равно 5,6 вольт.

Принимая, что до электрода ρ остается постоянной, построим кривую падения по формуле (8) между эллипсоидом, имеющим по-

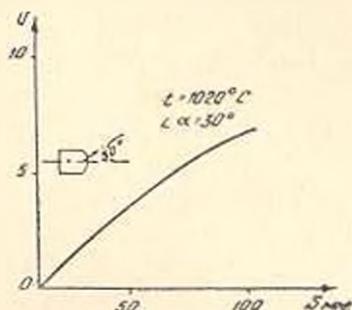


Рис. 6. Результаты обработки осциллограмм при измерении падения напряжения приэлектродного слоя под углом 30° . Температура наружной части электродов — 1020°C .

верхность, равную поверхности электрода, и между эллипсоидом, находящимся на расстоянии $S = 5$ см от него. С этой целью находим следующее значение I_p для $S = 5$ см, $b = 11,7$ см:

$$I_p = 32034,5.$$

Подставляя это значение в (8), получим:

$$V = 18,6 \frac{S}{11,7 + S}. \quad (11)$$

Как видно из рис. 5, точки рассчитанные по этой формуле, лежат близко к экспериментальной кривой. Это показывает, что при описываемых условиях работы электрода резких изменений удельного сопротивления стекломассы на расстоянии 5 см от электрода не имеется.

Необходимо отметить, что охлаждение электродов указанного типа в большей степени неэкономично, так как потери мощности на охлаждение электрода—7800 ккал/час (9,00 квт) уже составляют 20—25% от передаваемой мощности, при рабочем напряжении 120—130 вольт. Описанные в литературе металлические электроды на действующих промышленных печах работают в таких же условиях.

Увеличение охлаждения электрода, с точки зрения их защиты от разъедания, нельзя считать рациональным. Безусловно, что искусственным охлаждением электродов достигается некоторое снижение температуры на рабочей поверхности электрода и повышение вязкости стекломассы приэлектродного слоя, но одновременно с этим увеличение градиента температур вызывает усиление конвекционных потоков, что в свою очередь способствует разъеданию электрода.

Таким образом из вышесказанного следует, что гарниссаж как таковой при электрорварке стекла на рабочей поверхности электрода не образуется. Отсутствие гарниссажа подтверждают и другие факты.

Как указано выше, между температурой рабочей поверхности электрода и температурой варившейся стекломассы, на расстоянии 10 см от электрода, существует небольшая разница (50—70°C). Это означает, что перепад температуры, как и следовало ожидать, происходит плавно, без перегиба кривой. Ближе к рабочей поверхности электрода и даже на рабочей поверхности температура стекломассы высокая (порядка 1200°C и выше), что значительно отличается от температуры размягчения варившегося стекла (550—650°C). При 1200°C приэлектродные слои имеют большую подвижность и через конвекционные потоки легко перемещаются с стекломассой бассейна.

Отсутствием гарниссажа объясняется тот факт, что движение потоков стекломассы сообщается со электрода и на его поверхности вызывает образование различной величины вертикальных борозд. Эти потоки имеют определенную скорость движения, что приводит к равномерному распределению материала электрода в стекломассе.

Пробы, взятые с поверхности электрода, в приэлектродных слоях и в основной массе стекла, показали, что концентрация Fe_2O_3 во всех этих слоях находится в пределах 0,3—0,42%. В случае малоподвижного, вязкого слоя концентрация Fe_2O_3 в приэлектродных слоях и в варившейся стекломассе должна была значительно отличаться. Об этом же свидетельствует тот факт, что содержание Fe_2O_3 в стекломассе при полном охлаждении электрода очень мало отличается от содержания его при работе электрода без охлаждения [4]. Необходимо отметить, что во всей кампании двух полупромышленных печей (№ 2 и № 3) совершенно не наблюдалось увеличения содержания Fe_2O_3 в приэлектродных слоях стекломассы (что могло иметь место при наличии гарниссажа—приотставшего слоя стекла).

Разъедание огнеупора вокруг электрода и равномерное распределение продуктов разъедания стеклоприпаса также свидетельствуют об отсутствии „очень вязкого“, „малоподвижного“ слоя стекломассы около электрода.

Усиленное охлаждение электродов, связанное с большими теплопотерями, не является эффективной мерой для защиты их от коррозии стекломассой. Целесообразно применение электродов из жароупорных и химически стойких по отношению к расплавленному стеклу материалов, которые могут работать без искусственного охлаждения.

Химический институт
АН Армянской ССР

Поступило 3 II 1955

Մ. Գ. ՄԱԿԱՎԵՅԱՆ, Ա. Ֆ. ՄԱԼԻՔ-ՉԱԿՆԱԶԱՐՅԱՆ,
Կ. Ա. ԿՈՍՏԱՆՅԱՆ ԵՎ Ա. Հ. ՆԱԶՉԱՅԱՆ

ԱՊԱԿՈՒ ԷԼԵԿՏՐՈԴԱՎԱՆ ՎԱՌԱՐԱՆՆԵՐԻ ՄԵՐՁԷԼԵԿՏՐՈԴԱՅԻՆ ՇԵՐՏԻ ՄԱՍԻՆ

Ա մ փ ո փ ու մ

Գրականություն մեջ և շատ մասնագետների մոտ տարածված է այն կարծիքը, թե սառեցման մեթոդով էլեկտրոդների գործող մակերևույթի վրա առաջ է գալիս սառած ապակու շերտ (գարնիսս), որը պաշտպանում է էլեկտրոդը արագ շտաշտումից և առաջ է բերում լարվածությունների առկայությունը էլեկտրոդի մոտակայքում:

Հայկական ՍՍՄ ԴԱ Գիտական ինստիտուտի սպակու էլեկտրաձևման վառարաններում կատարված ջերմային և էլեկտրական հատուկ չափումները ցույց են տվել, որ էլեկտրոդների այնպիսի սառեցման դեպքում, որը տեղի ունի արտադրական վառարաններում, մերձէլեկտրոդային շերտի զերմաստիճանը չի կարող 1200°C-ից ցած լինել: Փորձերը կատարված են մազնիսաէլեկտրական օպերացրաֆի օդնությունում, որի մի շերտից ցույց էր տալիս լարվածությունների առկայությունը և էլեկտրոդի միջև իսկ մյուս շերտ

Քր ցույց էր տալիս զոնդի և էլեկտրոդի միջև եղած հեռավորությունը, Ջոնզի սխեման բերված է նկ. 2-ում, իսկ նկ. 3-ում բերված է J° պոտենցիալների (տես. նկ. 2) միացման սխեման օսցիլոգրաֆին, որի օգնությամբ որոշվում է զոնդի հեռավորությունը էլեկտրոդից:

Նկ. 4, 5 և 6-ում բերված են ստացված կորերը, որոնք ցույց են տալիս լարվածության անկումը մերձէլեկտրոդային շերտում: Այդ կորերը ցույց են տալիս, որ մերձէլեկտրոդային շերտում զոնդի վրա չունի դարձնիստ, քանի որ այդ կորերի վրա չկան լարվածություն կտրուկ փոփոխությունը ցույց տվող կետեր:

Լարվածության լրացացիչ անկումը, որն ըստ իր մեծության համեմատաբար փոքր է և կազմում է ընդամենը մի քանի մսլա, արդյունք է էլեկտրոդի մոտ հոսանքի ուժի դժերի խտություն մեծացման:

Հոգվածում զարնիստի ստեղծությունը միտող այլ փաստեր էլ են բերված (Fe_2O_3 -ի կոնցենտրացիան էլեկտրոդի մոտ և ապակու մասնայում, էլեկտրոդի մակերևույթի վիճակը աշխատանքից հետո և այլն):

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Մ. Ա. Բաբաձյանյան, Сборник научных работ по стеклу, М., 1950, стр. 76—84.
2. Մ. Ա. Բաբաձյանյան, В. С. Минасян և Մ. В. Ильинский, Керамика и стекло, № 6, 1938.
3. Փ. С. Энтелис, Сборник научных работ по стеклу, М., 1950, стр. 84—108.
4. Մ. Գ. Մանվելյան, Ա. Փ. Մելիկ-Ախնազարյան, Կ. Ա. Կոստյան, Ս. Օ. Սալադյան, Изв. АН Арм. ССР, т. VIII, 1955 (серия ФМЕТ наук), стр. 65.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Յ. Ա. ԱՇԱԳՐԻԱՆ

О КОЭФФИЦИЕНТЕ ОДНОРОДНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОГО
 КАМНЯ И КАМЕННОЙ КЛАДКИ

При расчете строительных конструкций по предельным состояниям, как известно, учитываются коэффициенты однородности материалов, из которых состоят эти конструкции. Если конструкция состоит из одного материала, например стали или дерева, то в расчет входит один коэффициент однородности, если же она состоит из двух материалов, как в железобетонной конструкции, то в расчет входят два коэффициента. При последовательном применении этого принципа, каменную конструкцию следует рассматривать как состоящую из двух материалов — камня и раствора, могущие иметь совершенно различные коэффициенты однородности.

В „Строительных нормах и правилах“ (СНиП), введенных в СССР с 1 января 1955 г. [1], для каменных конструкций дается коэффициент однородности, учитывающий разброс прочности каменной кладки в целом. Проанализируем насколько удовлетворителен подобный подход при оценке однородности каменной конструкции, и как можно учитывать изменчивую степень однородности строительных камней при расчете каменных конструкций, сохраняя при этом регламентированный СНиП способ расчета.

Прочность каменной кладки (R), как известно, является функцией прочности камня (R_1) и раствора (R_2):

$$R = f(R_1, R_2). \quad (1)$$

В соответствии с теорией математической статистики, при нормальном распределении дисперсия прочности кладки (S^2) в первом приближении определится следующим образом:

$$S^2 = \left(\frac{\partial R}{\partial R_1}\right)^2 S_1^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial R_2}\right)^2 S_2^2, \quad (2)$$

где S_1^2 — дисперсия прочности камня,

S_2^2 — дисперсия прочности раствора.

Подставляя вместо дисперсий их выражения через коэффициенты вариации (v, v_1, v_2), получим

$$v^2 R^2 = \left(\frac{\partial R}{\partial R_1}\right)^2 v_1^2 R_1^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial R_2}\right)^2 v_2^2 R_2^2. \quad (3)$$

Решая это уравнение относительно коэффициента вариации камня (v_1), имеем

$$v_1 = \frac{1}{\frac{\partial R}{\partial R_1}} \sqrt{v^2 \left(\frac{R}{R_1}\right)^2 - v_2^2 \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2 \cdot \left(\frac{\partial R}{\partial R_2}\right)^2}. \quad (4)$$

Пользуясь формулой (4), можно вычислить наибольший допустимый коэффициент вариации прочности камня данной марки, исходя из нормированного коэффициента однородности кладки и возможных отклонений прочности раствора.

По СНиП коэффициент однородности кладки из естественных камней при сжатии принимается в случае работы по классу А—0,55, а по классу Б—0,5. Поскольку выполнение работ по кладке из естественных камней обычно соответствует классу Б, то исходной величиной принимаем коэффициент однородности кладки 0,5.

В этом коэффициенте учтены, помимо естественного рассеивания прочности кладки вследствие неоднородности материалов, также работа малоквалифицированных каменщиков и небольшие отступления от технических условий производства работ [2]. Первый фактор учтен введением дополнительного коэффициента 0,9, а второй—соответственно 0,92. Следовательно, без учета указанных факторов, коэффициент однородности кладки при работе по классу Б имеет величину

$$K = \frac{0,5}{0,9 \cdot 0,92} = 0,6.$$

Исходя из этой величины и принятой для расчетов гарантии вероятности отклонения прочности не более трех стандартон*, можем определить средне-квадратическое отклонение прочности кладки при коэффициенте ее однородности 0,6:

$$S = \frac{1 - 0,6}{3} R = 0,13 R.$$

При этом коэффициент вариации прочности кладки будет $v = 0,13$.

Коэффициент вариации прочности раствора при работе по классу Б можно установить исходя из того положения, что при назначении раствора по составу (без контрольных испытаний) возможно понижение его прочности на одну ступень. Для употребительных растворов марок 4—50 такое понижение соответствует коэффициенту однородности $K_2 = 0,4$ (для марок 10 и 25) или 0,5 (для марок 4 и 50) и коэффициенту вариации соответственно $v_2 = 0,2$ или 0,17.

Имея коэффициенты вариации прочности кладки и раствора, легко вычислить коэффициент вариации прочности камня для различных случаев.

* Нам представляется, что такая гарантия, соответствующая надежности 0,999, слишком высокая для камешных материалов. Следовало бы несколько снизить ее и, вообще говоря, нормировать.

Для конкретизации вопроса рассмотрим два вида каменной кладки из естественных камней — кладку „мидис“, широко применяемую в Армянской ССР, и кладку из камней правильной формы.

По экспериментальным данным Института стройматериалов и сооружений Академии наук Армянской ССР [3] предел прочности при сжатии или, иначе говоря, нормативное сопротивление сжатию мидисовой кладки из туфовых камней в 3-х месячном возрасте может быть выражено эмпирической формулой

$$R = 0,1 R_1 + 0,48 R_2. \quad (5)$$

Из этого выражения

$$\frac{\partial R}{\partial R_1} = 0,1; \quad \frac{\partial R}{\partial R_2} = 0,48.$$

Подставляя полученные значения частных производных, а также значение R из (5) в формулу (4), после соответствующих преобразований получим:

$$v_1 = 10 v \sqrt{0,01 + 0,96 \frac{R_2}{R_1} + 0,23 \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2 \left[1 - \left(\frac{v_2}{v}\right)^2\right]}. \quad (4a)$$

По формуле (4a) нами вычислены предельные значения коэффициента вариации прочности камня (v_1) для различных марок камня и раствора в мидисовой кладке, исходя из установленных выше значений v и v_2 . Результаты этих вычислений сведены в табл. 1.

Таблица 1

Предельные коэффициенты вариации (v_1) прочности камня
в мидисовой кладке

$R_1 \backslash R_2$	50	75	100	150	200
4	0,168	0,158	0,152	0,145	0,142
10	0,167	0,170	0,167	0,159	0,154
15	—	0,109	0,156	0,170	0,170
50	—	0,111	0,187	0,207	0,204

Рассмотрение цифр табл. 1 показывает, что, во-первых, нормированному коэффициенту однородности кладки, при заданной изменчивости раствора, соответствуют различные степени изменчивости камня, в зависимости от марки камня и раствора. Это означает, что применение одного и того же камня в различных случаях приведет фактически к различной однородности кладки, следовательно и к различному запасу прочности при нормированном методе расчета.

Во-вторых, величины предельных коэффициентов вариации прочности камня по табл. 1, соответствующие нормированному коэффициенту однородности кладки, вообще невысокие. Обычно месторож-

дения строительного камня дают большой разброс. Так, коэффициент вариации прочности камня в исследованных нами месторождениях вулканических туфов составляет 0,25—0,30 и больше. Это значит, что если будет принято среднее значение прочности камня данного месторождения за марку камня, то не будет гарантирована достаточная однородность кладки. Следовательно, в таких случаях необходимо или произвести сортировку камня по маркам на карьере, или же снизить оценку марки камня по всему месторождению, исходя из значения разброса прочности.

Для марки камня 50 при марках раствора 25 и 50 вовсе не удастся обеспечить нормированную однородность кладки при работе по классу Б, так как при этом снижение марки раствора на одну ступень приводит уже к чрезмерному снижению прочности кладки.

Рассмотрим те же вопросы для кладки из камней правильной формы.

Предел прочности при сжатии кладки из камней правильной формы, как известно, определяется по формуле проф. Л. И. Ошницка [4]:

$$R = AR_1 \left(1 - \frac{a}{b + \frac{R_2}{2R_1}} \right), \quad (6)$$

где

$$A = \frac{100 + R_1}{10 + \alpha_1 R_1} \beta.$$

Коэффициенты формулы (6) для кладки из естественных камней правильной формы имеют следующие значения: $a = 0,15$; $b = 0,3$; $\alpha_1 = 2,5$; $\beta = 1,0$.

При подстановке этих значений формула (6) принимает вид:

$$R = \frac{(100 + R_1) R_1}{100 + 2,5 R_1} \left(1 - \frac{0,3}{0,6 + \frac{R_2}{R_1}} \right). \quad (6a)$$

Частные производные R по R_1 и R_2 будут:

$$\frac{\partial R}{\partial R_1} = \left(1 - \frac{0,3}{0,6 + \frac{R_2}{R_1}} \right) \frac{10000 + R_1(200 + 2,5 R_1)}{(100 + 2,5 R_1)^2} - \frac{0,3 \frac{R_2}{R_1} (100 + R_1)}{(100 + 2,5 R_1) \cdot \left(0,6 + \frac{R_2}{R_1} \right)^2}; \quad (7)$$

$$\frac{\partial R}{\partial R_2} = \frac{0,3 (100 + R_1)}{(100 + 2,5 R_1) \cdot \left(0,6 + \frac{R_2}{R_1} \right)^2}. \quad (8)$$

Определяя по выражениям (7) и (8) частные производные, далее можем вычислить значения коэффициента вариации прочности камня для кладки из камней правильной формы, пользуясь формулой (4), в которую нужно подставить значение $\frac{R}{R_1}$, определяемое из (6а); тогда формула (4) примет вид:

$$v_1 = \frac{1}{\frac{\partial R}{\partial R_1}} \sqrt{v^2 \left[\frac{100 + R_1}{100 + 2,5 R_1} \left(1 - \frac{0,3}{0,6 + \frac{R_2}{R_1}} \right) \right]^2 - v_2^2 \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^2 \left(\frac{\partial R}{\partial R_2} \right)^2} \quad (4б)$$

Принимая коэффициенты вариации кладки (v) и раствора (v_2) так же как выше было принято для кладки мидис, т. е. в соответствии с СНиП при работе по классу Б, нами вычислены значения v_1 по формуле (4б) для различных марок камня и раствора. Результаты этих вычислений сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Предельные коэффициенты вариации прочности камня и кладке из естественных камней правильной формы (v_1)

$R_1 \backslash R_2$	50	75	100	150	200
4	0,182	0,185	0,171	0,163	0,157
10	0,192	0,195	0,191	0,175	0,172
25	0,196	0,207	0,190	0,189	0,184
50	0,186	0,201	0,199	0,198	0,187

Данные табл. 2 подтверждают выводы относительно коэффициента вариации камня, сделанные выше на основании данных по мидисовой кладке.

Общим выводом является необходимость нормирования коэффициента однородности кладки в зависимости от коэффициента вариации естественного камня и марок раствора и камня. Такая работа, очевидно, должна быть выполнена при будущем пересмотре СНиП.

Если же придерживаться действующих СНиП, то необходимо учитывать, что требуемая однородность кладки может быть обеспечена лишь при условии, когда коэффициент вариации прочности применяемого в кладке камня не превышает величин, приведенных в табл. 1 и 2. Исходя из этого должно быть поставлено условие, чтобы производилась соответствующая сортировка естественного камня на карьерах.

В случае, если подобной сортировкой окажется практически невозможным добиться коэффициента вариации прочности ниже цифр табл. 1 и 2, или же камень будет поступать без сортировки, необходимо марку камня снизить против средне-арифметической величины (\bar{R}_1), полученной из испытаний.

В этом случае марку камня (R_1) необходимо определить по формуле

$$R_1 = \bar{R}_1 \frac{1 - 3v_{1ф}}{1 - 3v_1} \quad (9)$$

где $v_{1ф}$ — фактическое значение коэффициента вариации прочности камня,

v_1 — предельное значение коэффициента вариации по табл. 1 и 2.

Из формулы (9) следует, что если фактический коэффициент вариации камня равен или больше 0,33, то нельзя гарантировать какую-либо марку камня (с надежностью 0,999). При этом, очевидно, обязательна сортировка камня по прочности.

Приведенная формула для определения марки камня справедлива, когда рассматриваются результаты испытания большого количества образцов и когда они следуют нормальному закону распределения.

Когда количество испытанных образцов мало, но известно или принимается, что они следуют нормальному закону распределения, можно пользоваться теорией малых выборок (распределение Стюдента). В этом случае формула (9) преобразуется в следующую:

$$R_1 = \bar{R}_1 \frac{1 - tv_{1ф}}{1 - 3v_1} \quad (9a)$$

где t — критерий, определяемый из таблицы вероятностей по распределению Стюдента, в зависимости от принятой надежности и числа испытанных образцов. При надежности 0,999 для малых выборок $t > 3$.

В случае, когда результаты испытаний камня не следуют нормальному закону распределения, т. е. когда кривая распределения несимметрична, марку камня можно определить исходя из значений коэффициента однородности по номограммам Р. А. Муллера [5].

На практике часто отсутствуют данные о коэффициенте вариации прочности камня данного месторождения. В таких случаях можно основываться на общих данных об однородности камня применяемой породы. В частности, когда не производится сортировка камня по маркам, следовало бы принять усредненный коэффициент однородности кладки 0,4. Этой величине по формуле (4a) соответствует коэффициент вариации камня в среднем 0,28, что реально для применяемых пород естественного камня. При наличии сортировки камня по прочности, коэффициент однородности кладки может быть поднят в соответствии с расчетом по приведенным формулам.

Более радикальным мероприятием является, конечно, дифференциация коэффициента однородности кладки в зависимости от марок раствора и камня и коэффициента вариации прочности камня.

Չ. Ա. ՀԱՅԱԿՈՐՅԱՆ.

ՇԻՆԱՔԱՐԻ ԵՎ ՔԱՐԵ ՇԱՐՎԱՍՔԻ ՀԱՄԱՍԵՌՈՒԹՅԱՆ ԳՈՐԾԱԿՅԻ ՄԱՍԻՆ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Քարե կոնստրուկցիաների հաշվարկման ժամանակ, ըստ գործող նորմաների, բնդանվում է համասեռության մեկ գործակից, չնայած որ բնական քարի և շաղախի համասեռության տատիճանները կարող են շատ տարբեր լինել:

Քանի որ քարե շարվածքի ամրությունը (R) կախված է քարի և շաղախի ամրություններից (R_1 և R_2), ապա շարվածքի ամրության դիսպերսիան (S^2) կարտահայտվի (2) ֆորմուլայով, որտեղ S_1 -ն քարի ամրության դիսպերսիան է, իսկ S_2 -ն՝ շաղախի ամրության դիսպերսիան: Գիսպերսիաների փոխարեն անդադրելով նրանց արտահայտությունը վարիացիայի գործակիցների միջոցով և կատարելով համապատասխան գործողություններ՝ ստացվում է (4) ֆորմուլան, որով կարելի է որոշել քարի ամրության վարիացիայի գործակիցը (σ), եթե հայտնի են քարե շարվածքի և շաղախի նույնանման գործակիցները (σ և σ_2):

Այնուհետև այս ֆորմուլան օգտագործվում է կոնկրետ վերլուծություն համար, որ վերաբերում է ամփոխա շարվածքին և կանոնադր ձևի քարերով շարվածքին, ելնելով շարվածքի, քարի և շաղախի ամրությունների պայման ունեցող փոխադարձ կախումներից (5 և 6) և ընդունելով շաղախի ամրության նորմավորված սահմանային փոփոխականությունը:

Վերլուծությունը ցույց է տալիս (աղյուսակներ 1 և 2), որ նախ՝ շարվածքի նորմավորված գործակիցին, շաղախի տվյալ փոփոխականության ղեկգրում, համապատասխանում է քարի տարբեր փոփոխականություն, նայած քարի և շաղախի մարկային: Սա նշանակում է, որ միևնույն քարն օգտագործելիս տարբեր ղեկգրում կունենանք շարվածքի տարբեր համասեռություն, հետևարար և ամրության պաշար, եթե պահպանվի հաշվարկման նորմավորված մեխոդը:

Երկրորդ, քարի ամրության վարիացիայի գործակիցների սահմանաչին մեծությունները, որոնք համապատասխանում են շարվածքի համասեռության նորմավորված գործակիցին, առհասարակ քարձք չեն: Շինաքարի հանքավայրերը սովորաբար ապրիս են ավելի մեծ ցրում: Սա նշանակում է, որ եթե որպես քարի մարկա բնդանվի տվյալ հանքավայրի քարի ամրության միջին նշանակությունը, ապա չի ապահովվի շարվածքի բավականաչափ համասեռությունը: Հետևարար այդպիսի ղեկգրում անհրաժեշտ է կատարել քարի անասկավորում ըստ ամրության, կամ թե իջեցնել տվյալ հանքավայրի քարի մարկան, ելնելով ամրության փոփոխականությունից (ըստ 9 կամ 9ա ֆորմուլաների):

Ավելի արմատական միջոցառումն այն կլինի, որ քարե շարվածքի համասեռության գործակիցը նորմավորվի ըստ բնական քարի ամրության վարիացիայի գործակիցի և քարի ու շաղախի մարկաների:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Государственный Комитет Совета Министров СССР по делам строительства. Строительные Нормы и Правила, ч. II, Нормы строительного проектирования, 1954.
2. ВНИТО Строителей. Нормы проектирования конструкций (проект). Материалы для Урочного Положения (четвертая редакция), 1949.
3. С. А. Шагинян. Исследование прочности и деформативных свойств местной каалки (рукопись), АИС, 1951.
4. Л. И. Опицкий. Каменные конструкции промышленных и гражданских зданий, 1939.
5. Р. А. Муллер. К вопросу определения коэффициентов однородности и перегрузки по статистическим данным (Сб. «Вопросы безопасности и прочности строительных конструкций», ЦНИИС, 1952).

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

М. А. КАРАПЕТЯН

ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
 КАБЕЛЕЙ С РЕЗИНОВОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ
 ИХ ТЕПЛОВОГО СТАРЕНИЯ

Немногочисленные работы посвящены исследованию изменений электрических характеристик кабельной резиновой изоляции при ее тепловом старении. Методика исследований в известных нам работах в частности в работе [1] заключалась в следующем. Из резиновой, смеси, подлежащей старению, готовились пластины толщиной 2—3 мм. Эти пластины помещались в термостат и как правило подвергались нагреву при температурах, значительно превышающих нормально допустимые для данной резиновой изоляции.

В результате испытаний, проведенных по указанной методике, было установлено, что тепловое старение кабельной резиновой изоляции приводит к росту диэлектрических потерь и диэлектрической проницаемости.

На фиг. 1, заимствованной из отчета НИИ Кабельной Промышленности [1] представлены зависимости $tg\delta$ от времени старения для двух резиновых смесей ТС-35 и ТСШ-35, испытанных вышеуказанной методикой при температуре 120°.

Однако действительные условия работы кабельной резиновой изоляции совершенно отличны от тех условий, при которых они обычно исследовались. Доступ воздуха к изоляции в кабеле отсутствует, а допустимая рабочая температура нагрева ψ изоляции не превышает 65°.

Исследование химических и физических изменений в резине в результате старения привело к выводу, что эффективность этих изменений зависит от температуры нагрева резины и количества присоединенного кислорода. Отсюда ясно, что в действительных условиях изменения $tg\delta$ и ϵ в кабельной резиновой изоляции могут оказаться иными, чем это получено при проведенных испытаниях.

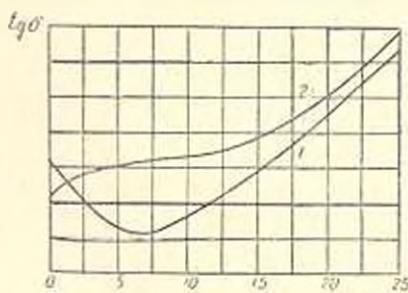


Рис. 1. Зависимость $tg\delta$ от времени старения в сутках. Резиновая пластинка, старевшая при температуре 120° в термостате. 1—резина ТС-35 (СК-50); 2—резина ТСШ-35 (СК-50).

Наши опыты доказали правильность этих предположений. Методика исследований заключалась в следующем. Испытаниям подверглись куски кабелей с резиновой изоляцией типа СРГ-3000 в $1 \times 1,5$ и $1 \times 4,0$ кв.мм, КНРП-500в — $2 \times 1,5$ кв.мм (производства з-да „Севкабель“) и опытный шестижильный электротракторный кабель Ереванского кабельного завода. Все эти кабели имели газо-непроницаемую оболочку. Для образцов брались куски кабелей длиной в 1 м. При такой длине образца окружающий воздух мог бы проникнуть во внутрь кабеля. С целью предотвращения проникновения воздуха концы кабельных кусков при подготовке образцов погружались в посуду с расплавленной смесью галовакса с бензилцеллюлозой. После охлаждения на концах образцов образовались прочные слои этого материала. Испытанию подверглись 30 образцов вышеназванных кабелей.

Изоляция указанных кабелей выполнена резиновыми смесями типа ТС-35 и ТСШ-35. Кабельные куски-образцы нагревались в термостате до температуры 45 и 75°. Образцы в сутки нагревались 10 часов, а остальное время суток охлаждались.

Измерения $tg\delta$ и емкости образцов производились с помощью моста МДП. Результаты испытаний приведены на фиг. 2, 3 и 4. Как видно из этих фигур в противоположность прежним результатам (фиг. 1) тепловое старение приводит к снижению как $tg\delta$, так и емкости кабельных образцов.

Для объяснения причин этих расхождений выясним механизм химических изменений структуры каучука или резины в процессе старения. Выше отмечалось, что как изоляция всех испытанных нами кабелей, так и резиновые пластины, испытанные НИИКП, изготовлены из резиновых смесей типа ТС-35 и ТСШ-35. Эти резины изготовлены на основе натурального каучука (НК) и каучука СКБ.

НК является слабо полярным диэлектриком. Слабая полярность НК объясняется линейным строением молекулярной цепи и отсутствием в ней полярных групп. Потери в каучуке СКБ имеют более явно выраженный, чем в случае НК, полярный характер [2]. Это объясняется наличием боковых групп [3].

Диэлектрические потери в вулканизированной резине имеют ярко выраженный дипольный характер, т. е. температурная зависимость потерь имеет два максимума.

В области высокотемпературного максимума потерь, в полимерах под действием электрического поля ориентируются не только полярные группы и диполи, но и целые участки и звенья молекулярной цепи. В области низкотемпературного максимума потерь молекулярная цепь „замораживается“ и большинство звеньев не участвуют в тепловом движении.

Таким образом величина потерь в резине будет определяться не только количеством полярных групп, имевшихся в резине, но и подвижностью звеньев молекулярных цепей каучука.

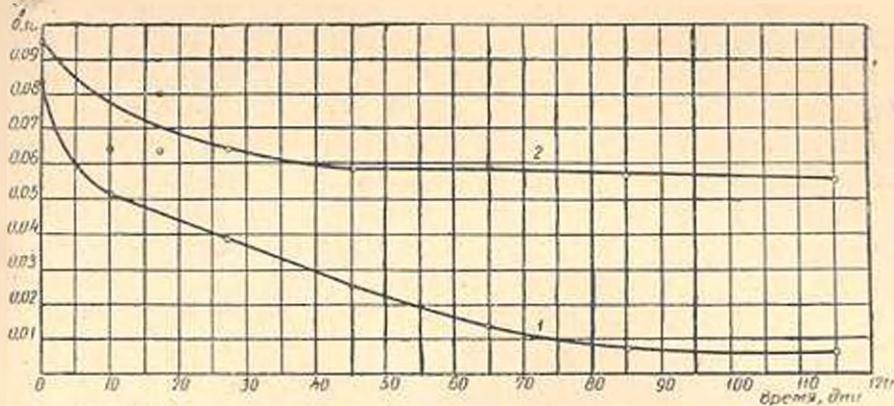


Рис. 2. Зависимость $\text{tg}\delta = f(\tau)$. Кабель СРГ $1 \times 1,5$ м.кв. Тепловое старение при темп. 75° . 1—при напр. 3 кв; 2—при напр. 7 кв.

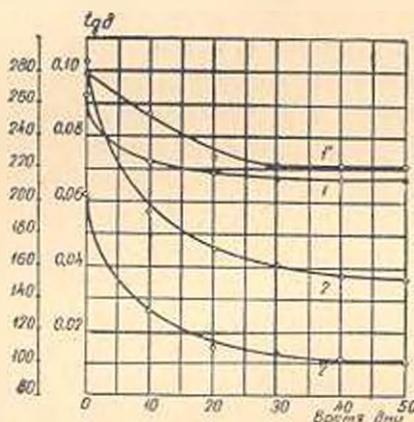


Рис. 3. Зависимости 1 и 1' — $C = f(\tau)$; 2 и 2' — $\text{tg}\delta = f(\tau)$; 1 и 2 — при напр. 1,3 кв; 1' и 2' — при напр. 5 кв. Кабель электротракторный. Тепловое старение при темп. 75° .

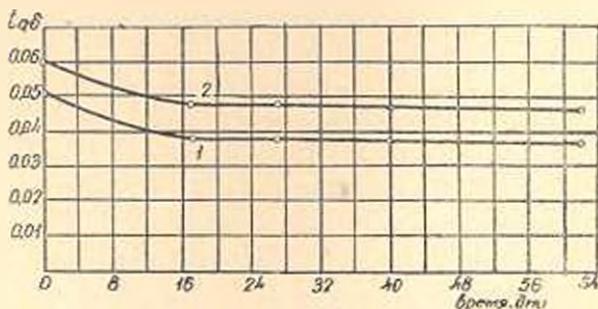


Рис. 4. Зависимость $\text{tg}\delta = f(\tau)$. 1—при напряжении 500 в; 2 — при напр. 7 кв. Кабель КИП II $2 \times 1,5$ м.кв. Старение при темп. 45° .

Из теории эластичности каучуков известно, что интенсивность теплового хаотического движения звеньев зависит от длины цепи между двумя закрепленными точками этой цепи (свободная длина цепи). Закрепленными точками в молекулярной цепи считаются места поперечных связей. Однако на свободу теплового движения сильно влияют только ближайшие поперечные связи. Это значит, что если поперечные связи редки, то они не будут влиять на подвижность звеньев. Отсюда следует, что причину снижения потерь и емкости образцов во время наших испытаний надо искать в таких физико-химических процессах в резине, которые приводят к уменьшению подвижности звеньев молекулярной цепи каучука.

Возможно, что таким процессом является теплоокислительное старение каучуков. Кислород действуя на каучук вызывает его деструкцию. Наоборот, под действием тепла в каучуке идет процесс структурирования, причем активность этого процесса сильно зависит от количества двойных связей в боковых цепях [3].

В зависимости от строения каучука при данных условиях испытания будет превалировать или деструкция или структурирование.

Так, например, при испытании НК (не имеющего двойных связей в боковых цепях) в воздухе преобладает деструкция, между тем испытание СКВ, имеющего от 50 до 80% двойных связей в боковых цепях, неизменно показало структурирование до температуры нагрева 133° [5].

На основании вышеприведенного можно сделать следующие заключения. При данных опытах тепловое старение кабеля вызвало структурирование изоляционной резины, так как количество кислорода в кабеле ограничено, а температура нагрева была невысокая—75°. Структурирование резины привело к снижению подвижности молекулярных цепей и, следовательно, к снижению диэлектрических потерь в кабеле.

В опытах НИИ кабельной промышленности неограниченный доступ кислорода к резине и высокая температура ее нагрева (120°) обуславливали деструкцию одного из исходных каучуков—натурального каучука. Как известно деструкция ведет к росту подвижности молекулярных цепей и, следовательно, к росту диэлектрических потерь (фиг. 1).

Из вышеописанного механизма структурирования резиновой изоляции кабеля следует, что после израсходования всех двойных связей в каучуке и образования такой пространственной структуры, когда свободная длина цепей очень мала, дальнейшее структурирование резины должно сильно затрудниться. А это значит, что в процессе теплового старения кабеля должен наступить момент, когда прекращается дальнейшее снижение диэлектрических потерь и емкости образцов.

Как видно из фиг. 2—4 и, особенно, 5, явление прекращения снижения потерь и емкости образцов действительно имеет место.

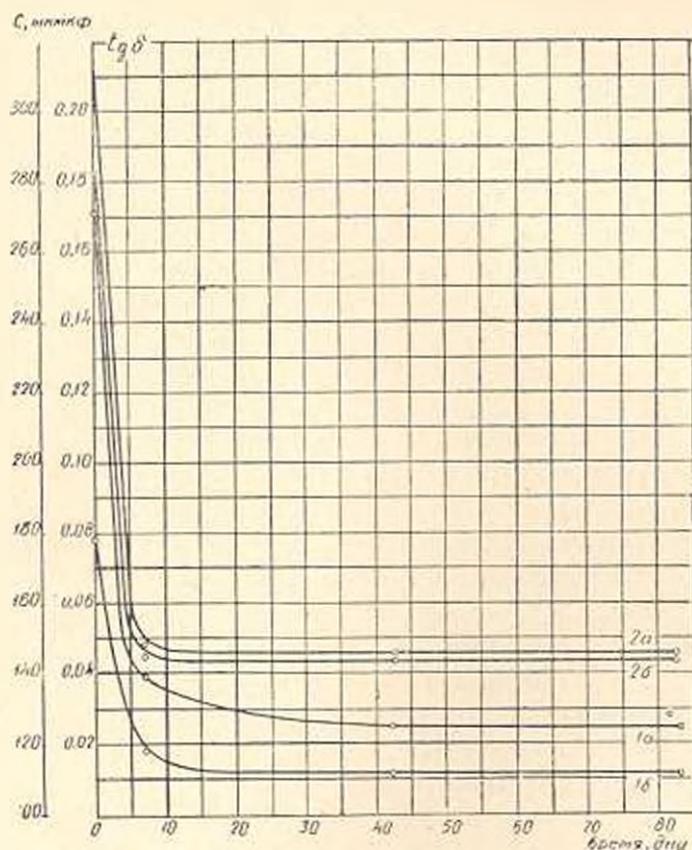


Рис. 5. Тепловое старение кабеля СРГ $1 \times 4,0$ мм². Нагрев осуществлен подачей из кабель высокочастотного напряжения. 1а и 1б—зависимости $\text{tg} \delta = f(\tau)$ при напр. 7 и 3 кв; 2а и 2б зависимости $C = f(\tau)$ при напр. 7 и 3 кв.

Подтверждается вывод отчета [1], о том что тепловое старение заметно не снижает электрическую прочность резины.

Выводы

1. Тепловое старение кабелей с резиновой изоляцией и газонепроницаемой оболочкой приводит к снижению их диэлектрических потерь и емкости, причем, чем выше температура нагрева кабеля, тем более это снижение (в пределах температур до 75°).

2. Методика определения изменений электрических характеристик кабельной резиновой изоляции, в результате теплового старения, защищенной от свободного доступа воздуха, с помощью резиновых пластинок, испытанных в воздухе, приводит к неверным результатам.

Մ. Ա. ԿԱՐՊԵՏՅԱՆ,

ՌԵՏԻՆԵՆ ՄԵԿՈՒՍԱՅՈՒՄՈՎ ԿԱՐԵԼԻ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՀԱՏԿԱՆԻՇՆԵՐԻ
ՓՈՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆԸ ԶԵՐՄԱՅԻՆ, ՄԵՐԱՑՄԱՆ, ՀՆՏԵՎԱՆՔՈՎ

Ա մ լ ի ո ի ու մ

Մինչև այժմ էլ կարելի էր ուսումնասիրել մեկուսացման ջերմային ձեռնարկի ստացումը և սեռինն թերթիկի վրա, նրանց տեղափոխելով ջերմապահարանների մեջ: Այդ նշանակում է, որ սեռինն թերթիկն ազատ շփվում է տաք օդի հետ: Փորձարկման ջերմատարիճանը հաճախ վերցվում է 120°: Նման ստացումները հանդիսանում են այն եզրակացություն, որ ջերմա-օքսիդական մեքանիզմը բերում է կարելի լինել սեռինն մեկուսացման գիլեկտրիկական կորուստների մեծացման:

Ստորին կարելի սեռինն մեկուսացման իրական աշխատանքի պայմանները խիստ տարբեր են վերը շարադրված ստուգման պայմաններից: Կարելի սեռինն մեկուսացումը շրջապատի տաք օդի անմիջական ազդեցությանից պաշտպանված է կապարի պատյանով կամ սեռինն շլանդով, իսկ նրա բանփորական ջերմատարիճանը չի գերազանցում 70°-ից:

Էլեկտրա-մեկուսիչ սեռինի ջերմա-օքսիդական մեքանիզմի մեխանիզմի խորը առաջնախրաթյունը բերում է այն եզրակացություն, որ սեռինն թերթիկների փորձարկմամբ ստացված ջերմա-օքսիդական մեքանիզմի արդյունքները կարող են չհամապատասխանել այն արդյունքներին, որոնք կատարվել են կարելի լինել մեկուսացման բնական ջերմա-օքսիդական մեքանիզմի նկատմամբ:

Հոգավածում նկարագրված փորձերը հաստատում են այն եզրակացությունը: Իսկապես, կարելի լինել կոորդինների տաքացումը բերում է նրա մեկուսացման գիլեկտրիկական կորուստների փոքրացման:

Դիլեկտրիկական կորուստների փոքրացումը պետք է բացատրել նրանով, որ նախ՝ սեռինն մեկուսացման հետ փոխդրժույ թիվումնի շանակաթյունը կարելի դեպքում առձանախակ է: Այս հանգամանքը խիստ խզկնում է կառչակի մեջ գնացող գեոտրոպիկոն պրոցեսի ակտիվացումը: Երկրորդ՝ ջերմա-օքսիդական տակ տեղի է առնում կառչակի տարածական սարկոտոբալի առացումը:

Եթե կարելի լինել ստուգման ժամանակ գերակշռում է երկրորդ պրոցեսը, այս սեռինն թերթիկների փորձարկման ժամանակ՝ առաջինը — օքսիդացման գեոտրոպիկոն պրոցեսը: Այստեղից էլ փորձարկման արդյունքների լրիվ հակասությունը:

Ուրեմն կարելի սեռինն մեկուսացման ջերմա-օքսիդական մեքանիզմը պետք է ստուգել կարելի կոորդինների վրա հատակ մշակված մեխանիզմով:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Отчет № 356-53, НИИ Кабельной Промышленности, 1953.
2. И. В. Бородина, А. К. Никитин. Технические свойства советских синтетических каучуков, Гостхимиздат, 1952.
3. Сб. Тр. 1 ой научно-технической конференции ВЗЭИ 1949—50 учебного года.
4. Старение каучуков и резин и повышение их стойкости. Сб. Тр. научно-техн. конф. ВНИИО резины, 1950.
5. Коллоидный журнал, 1950, в. 1.

ՐՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

62

Մետեորոլոգիա

Մ. Գ. Տիմոֆեև. Սեանա լճի մետեորոլոգիական ուժեղի հետազոտության մասին 9

Զերմատեխնիկա

Ա. Ֆ. Մելիք-Հախնազարյան. Ազախու հալման վաննային էլեկտրաֆոտոարանների հաշվման մեթոդը 21

Էլեկտրատեխնիկա

Մ. Մ. Կարապետյան. Էլեկտրահանացված առաջափոխելի տեղակայումներում ալիքային կրելոյթների մի քանի հարցեր 33

Հիդրոլոգիա

Շ. Ա. Շահբազյան. Հայկական ՍՍՏ-ի շուտամասերից զետերի համար որակյան էլեքտրի ապահովման մասին կորերի կառուցումը 43

Ֆիզիկական ախտաբանություն

Մ. Գ. Մանվելյան, Ա. Ֆ. Մելիք-Հախնազարյան, Կ. Ա. Կոստանյան և Ս. Հ. Նալչազյան. Ազախու էլեկտրահալման ֆոտոարանների մերձէլեկտրոդային շերտի մասին 53

Շինանյութեր

Զ. Ա. Հացագործյան. Շինարարի և քարե շարվածքի համասեռության գործակցի մասին 61

Գիտական նորեր

Մ. Ա. Կարապետյան. Ռետինե մեկուսացումով կարելի էլեկտրական հասկանիչները փոփոխությունը ջերմային ձեռքածան հետևանքով 69

СО Д Е Р Ж А Н И Е

Метеорологии

Стр.

М. П. Тимофеев. Об исследовании метеорологического режима озера Севан 9

Теплотехника

Բ. Мелик-Ахназарян. Метод расчета электрических стекловаренных ванн печей 21

Электротехника

Մ. Կարապետյան. Некоторые вопросы полионных процессов в передвижных электрифицированных установках 33

Гидрология

Մ. Շահբազյան. Построение кривых обеспеченности суточных расходов для неизученных рек Армянской ССР 43

Химическая технология

Մանվելյան, Ա. Փ. Մելիք-Աхназарյան, Կ. Ա. Կոստանյան, Ս. Օ. Դալաճյան. Приэлектродном слое стекла и стекловаренных электрических печах 53

Строительные материалы

Մ. Ազիզогլյան. О коэффициенте однородности строительного камня и каменной кладки 61

Научные заметки

Մ. Կարապետյան. Изменение электрических характеристик кабелей с резиновой изоляцией в результате их теплового старения 69