

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՌ-ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱՇԱԽԵՄՐԱՅԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ.
СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ԽՐԲԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈՒԵՊԻԱ

Ազոնց Հ. Տ., Ալեքսեևսկի Վ. Վ., Գասպարյան Ա. Մ., Եղիազարյան Ի. Վ., Կասյան Մ. Վ., Նազարով Ա. Գ. (պատ. խմբագիր), Սիմոնով Մ. Զ., Տեր-Ստեփանյան Գ. Ի., Փինաջյան Վ. Վ., Սանսյան Ա. Ս. (պատ. քարտուղար):

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Азониц Г. Т., Алексеевский В. В., Гаспарян А. М., Егиазаров И. В., Касьян М. В., Назаров А. Г. (ответ. редактор), Пинаожян В. В., Симонов М. З., Тер-Степанян Г. И., Сансян А. С. (ответ. секретарь).

ОТ РЕДАКЦИИ

XXII съезд КПСС развернул величественную программу построения Коммунистического общества в нашей стране. Для выполнения этих грандиозных задач необходимо дальнейшее, более стремительное развитие науки и техники и внедрение их достижений в жизнь. Большие задачи стоят также перед техническими науками. Действительно, технические науки играют роль приводных ремней от науки к технике. Поэтому с развитием наук, с открытием новых закономерностей природы, для возможности их практической реализации необходимо создание новых технических дисциплин и дальнейшее развитие старых. Основной задачей технических дисциплин является возможно скорейшее и эффективнейшее приложение к практике достижений теории. Максимальное сокращение отрезка времени между открытием нового закона и его возможно более эффективным применением в технике является почетной задачей научных работников в области технических наук.

Большое внимание будет уделено также прогрессу техники регистрации, измерения физических величин, т. е. коренным вопросам теории и практики приборостроения. Именно через приборостроение, в основном, техника оказывает свое могущественное воздействие на развитие и углубление методов науки, что приводит, в свою очередь, к возможности открытия еще более сокровенных закономерностей природы. В развитии техники громадную роль будут играть также проблемы кибернетики и проблемы автоматизации и механизации производства. Для ускорения темпов развития технических наук большую роль должны играть периодические издания, посвященные этим наукам. Поэтому значительное внимание должно быть уделено повышению качества публикуемых работ и скорейшему их опубликованию, в особенности по актуальнейшим, быстро развивающимся отраслям технических наук.

Мы считаем необходимым, в свете новых задач, поставить на обсуждение читателей и авторов о способах улучшения постановки издательской деятельности наших «Известий», повышения их качества, а также о способах улучшения их распространения.

Для максимального ускорения выпуска завершенных научных работ можно предложить чтобы организация, представляющая статью к опубликованию, одновременно представляла редакции не менее одной положительной рецензии на эту работу со стороны достаточно авторитетного специалиста, а также решение РИСО об опубликовании этой статьи. Для повышения ответственности рецензента, давшего положительный отзыв, в сноске к статье должно быть написано «Рецензировал такой-то». Наиболее интересные и содержательные рецензии, в особенности в полемической своей части, могут быть также опубликованы в сокращенном виде

совместно со статьей, что оживит содержание «Известий». При такой постановке отпадает надобность в посылке статьи на рецензию со стороны редакции, конечно, за исключением сомнительных случаев. Это мероприятие ускорит работу редакции не говоря уже о том, что заинтересованная организация, при желании, может лучше подобрать специалиста для рецензирования, чем редакция, а также ей легче ускорить получение самой рецензии.

В подавляющем большинстве случаев названия статей можно стандартизировать. Известно, что автор пытается назвать статью таким образом, чтобы в максимальной мере подчеркнуть ее содержание, ее отличительные черты. Тем не менее известно также, что все же очень трудно судить о содержании статьи только по ее названию.

Нам представляется, что целесообразнее был бы следующий подход к наименованиям статей. Обычно современные авторы работают достаточно целеустремленно. Они разрабатывают определенную проблему или тему, по которым в течение ряда лет опубликовывают различные статьи. Было бы целесообразно в качестве заглавия для всех этих статей принять название темы, или раздела темы и их различать между собою нумерацией или грифом «сообщение № ».

Не исключена возможность, что различные научные работники различных организаций, будут печатать статьи под одним и тем же названием. В таком способе наименования научных работ имеются преимущества.

Во-первых они сообщают еще большую целеустремленность научному работнику, устойчивость его научным интересам.

Во-вторых, встречая в библиографии статью автора под таким-то номером, автоматически узнаем, что он имеет еще и другие работы в этой области.

В третьих, облегчается библиографическая работа, систематика, а также применение логических машин в библиографическом деле.

Для предварительного же ознакомления с содержанием статьи следует ей предпослать краткую аннотацию в нескольких строчках, желательно на русском и на каком-либо иностранном языке. Резюме в конце статьи на армянском или русском языке должно быть сохранено.

Мы считаем возможным поставить на обсуждение также следующий вопрос. «Известия» в полном объеме, поскольку они посвящены разнообразным техническим дисциплинам, находят весьма малое количество читателей. По существу они необходимы лишь для комплектования специализированных библиотек. Поэтому не целесообразнее ли довести выпуск «Известий» в полном объеме до самого минимума и, вместе с тем, резко увеличить, скажем в несколько раз, количество авторских оттисков. Более того, организация, представляющая в редакцию журнала статью своего сотрудника, должна указывать необходимый тираж оттисков. Этот тираж данная организация выкупает у Издательства и сама распространяет среди заинтересованных организаций и специалистов в порядке обмена.

Мы считаем вполне естественным, что каждая статья может иметь свой тираж в зависимости от количества ожидаемых читателей.

Таким путем тираж «Известий», в среднем, сильно возрастет, причем каждая статья дойдет до того читателя, для которого она предназначена. Этот путь распространения издания будет значительно более эффективным. На оттисках необходимо также как и на журналах привести полный состав редколлегии, чтобы она несла ответственность за распространяемые статьи.

По-видимому этими предложениями далеко не исчерпываются возможности существенного улучшения постановки издания наших «Известий». Желательно было бы получить от читателей и авторов их пожелания по улучшению наших «Известий».

А. Г. НАЗАРОВ

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

В. Г. БЕГЛЯРОВ

СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОСТОЯННЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ λ
 ГИДРОСТАНЦИЙ. АЛГОРИТМ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ
 ЭКОНОМИЧНОГО РЕЖИМА СМЕШАННОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ
 БЕЗ УЧЕТА ПОТЕРЬ В СЕТЯХ

§ 1. *Постановка задачи.* Математическим условием экономичности режима работы объединенной энергосистемы, состоящей из ТЭС и ГЭС, без учета потерь в сетях, по минимуму затрат топлива на ТЭС и при покрытии заданного графика нагрузки потребителя, является равенство в каждый момент времени относительных приростов [1, 2]

$$\frac{\partial T}{\partial P_T} = \lambda_1 \frac{\partial Q^1}{\partial P_{11}} = \dots = \lambda_m \frac{\partial Q_m}{\partial P_{1m}} \quad (1)$$

или для краткости запишем

$$\varepsilon_T = \lambda_1 \cdot \varepsilon_{T_1} = \dots = \lambda_m \cdot \varepsilon_{T_m} \quad (2)$$

Здесь T и Q — соответственно, затраты топлива в системе ТЭС и расходы воды на ГЭС в зависимости от их нагрузок, λ — некоторые постоянные на рассматриваемый период времени коэффициенты. Значения их должны быть таковы, чтобы каждая ГЭС реализовала за рассматриваемый период времени заданный объем воды.

Равенство (1) является необходимым и достаточным условием экономичности режима если:

- а) отметки верхних бьефов ГЭС практически постоянны;
- б) время переходного процесса становления отметок нижних бьефов при изменении нагрузок ГЭС не учитывается.

Условие баланса мощностей имеет вид

$$P_n(t) - P_T(t) - \sum_{c=1}^{c=m} P_{Tc}(t) = 0, \quad (3)$$

где $P_n(t)$ — нагрузка энергосистемы, t — время.

Известно, что коэффициенты λ для ГЭС могут быть найдены методом последовательных приближений. В этой статье рассматриваются

способы определения коэффициентов λ для любого числа ГЭС в системе и требующие наименьшего числа вычислительных операций.

§ 2. Способы определения коэффициентов λ . Рассматриваемые здесь два способа основаны на том, что для ГЭС предварительно определяются коэффициенты λ при постоянном графике нагрузки энергосистемы, а затем они уточняются для заданного переменного графика.

Пусть имеются жестко заданные расходные характеристики $Q_c(P_{ГЭС})$ и характеристики относительных приростов $\varepsilon_{ГЭС}(P_{ГЭС})$ для гидростанций и характеристика относительных приростов $\varepsilon_T(P_T)$ системы тепловых станций (рис. 1).

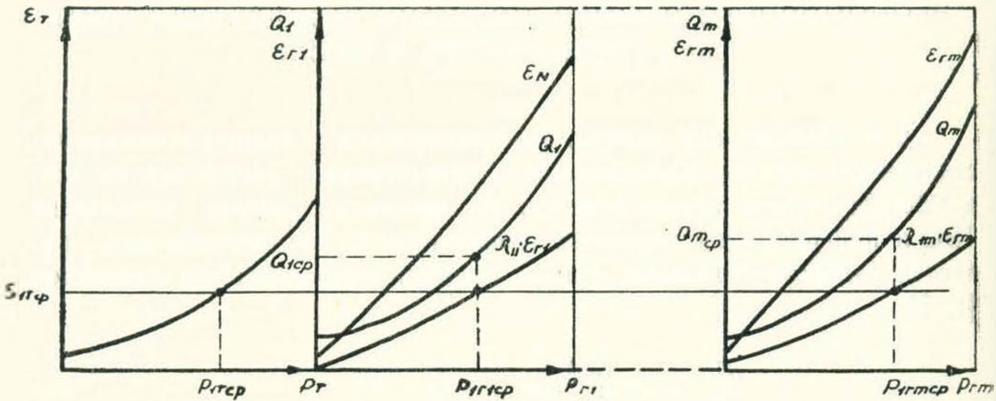


Рис. 1.

График нагрузки энергосистемы $P_H(t)$ за рассматриваемый период времени Δt , например сутки, ($\Delta t = 24$ часа) задан. Среднее интегральное значение нагрузки системы

$$P'_{иср} = \frac{\sum_{t=1}^{t=24} P_{иср}}{\Delta t}$$

Обозначим суточный запас воды в водохранилище каждой ГЭС через V_c . Тогда среднесуточное интегральное значение расхода будет

$$Q'_{ср} = \frac{V_c}{\Delta t \cdot 3600} \quad (5)$$

Для данных $Q_{ср}$ по расходным характеристикам ГЭС находятся соответствующие средние значения нагрузок $P_{ГЭС,ср}$ в первом приближении. Здесь и ниже первый числовой индекс при соответствующих величинах — индекс приближения. Примем для него общее обозначение n .

Среднее значение нагрузки системы ТЭС в первом приближении

$$P_{ТЭС,ср} = P'_{иср} - \sum_{c=1}^{c=m} P_{ГЭС,ср} \quad (6)$$

По характеристике относительных приростов системы ТЭС для $P_{1тср}$ находится соответствующее значение $\varepsilon_{1тср}$. Так как условие равенства приростов (2) должно выполняться при любой форме графика нагрузки потребителя, величину коэффициента $\lambda_{1с}$ для каждой ГЭС в первом приближении можно найти по формуле

$$\lambda_{1с} = \frac{\varepsilon_{1тср}}{\varepsilon_{гс} (P_{1гсср})}. \quad (7)$$

Построив для каждой ГЭС всю характеристику $\lambda_{1с} \cdot \varepsilon_{гс} (P_{гс})$, можно распределить реальный график нагрузки энергосистемы между всеми станциями, соблюдая условие равенства приростов. В результате мы можем получить, по крайней мере на первой ступени расчета, перерасход воды одновременно для всех ГЭС. Объяснение этого обстоятельства будет дано ниже, а пока рассмотрим дальнейшие ступени нахождения коэффициентов λ .

По полученным нагрузкам $P_{1гс}$ за каждый час можно найти расходы воды $Q_{1с}$ за каждый час и подсчитать объем воды, который израсходовала бы каждая гидростанция, работая с данным коэффициентом λ .

$$V_{1с} = \sum_{t=1}^{t=24} Q_{1сt} \cdot 3600. \quad (8)$$

Небаланс в расходе воды будет равен

$$\Delta V_{1с} = V_c - V_{1с}. \quad (9)$$

Сложив алгебраически средний интегральный расход $Q_{сср}$ каждой ГЭС с величиной

$$\Delta Q_{1с} = \frac{\Delta V_{1с}}{3600 \cdot \Delta t} \quad (10)$$

и найдя новые средние значения расходов

$$Q_{2сср} = Q'_{сср} + \Delta Q_{1с} \quad (11a)$$

и нагрузок $P_{2гсср}, P_{2тср}$ описанным выше способом, находим значения $\lambda_{2с}$ во втором приближении и т. д. Причем на всех дальнейших ступенях расчета, например на ступени K , в формулу (11a) вместо $Q'_{сср}$ подставляется значение $Q_{(k-1)сср}$, т. е.

$$Q_{kсср} = Q_{(k-1)сср} + \Delta Q_{(k-1)с}. \quad (11b)$$

Если в процессе расчета на какой-то ступени K для всех ГЭС одновременно знак $\Delta V_{kс}$ получится противоположным, также одновременно для всех ГЭС, знаку ΔV_{nc} ступени n , то новое значение $\lambda_{(k+1)с}$ найдется по формуле

$$\lambda_{(k+1)с} = \lambda_{nc} - \frac{|\lambda_{kс} - \lambda_{nc}|}{|\Delta V_{kс}| + |\Delta V_{nc}|} \cdot \Delta V_{nc}. \quad (12a)$$

или по формуле

$$\lambda_{(k+1)c} = \lambda_{kc} - \frac{|\lambda_{kc} - \lambda_{nc}|}{|\Delta V_{kc}| + |\Delta V_{kc}|} \cdot \Delta V_{kc} \quad (126)$$

Более просто новое значение λ может быть найдено как среднее арифметическое между двумя смежными.

Расчет ведется до получения достаточной для практики точности реализации заданного объема воды:

$$|\Delta Q_{kc}| \leq \Delta Q_{c \min}, \quad (13a)$$

или

$$|\Delta V_{kc}| \leq \Delta V_{c \min}. \quad (136)$$

Второй метод нахождения коэффициентов λ основан на том же принципе, что и первый, однако, используя его мы не связаны каждый раз с необходимостью построения характеристики $\lambda_{nc} \cdot \varepsilon_{rc} (P_{rc})$.

Сущность его в следующем.

Из уравнения (2) видим, что

$$\varepsilon_{rc} \cdot \frac{1}{\varepsilon_{rc}} = \lambda_c,$$

т. е. для различных значений λ мы имеем в плоскости $\left(\varepsilon_{rc}, \frac{1}{\varepsilon_{rc}}\right)$ семейство гипербол. Пусть нам заданы характеристики $\varepsilon_{rc} (P_{rc})$, $Q_c (P_{rc})$ и $\frac{1}{\varepsilon_{rc}} (P_{rc})$.

Построим систему графиков, как изображено ниже на рис. 2. В данном случае взяты только две гидроэлектростанции.

Зная $Q_{c \text{ ср}}$ можно найти значения $P_{1rc \text{ ср}}$, $P_{1rc \text{ ср}}$, $\varepsilon_{1rc \text{ ср}}$, $\frac{1}{\varepsilon_{1rc \text{ ср}}}$, а в точках пересечения координат, соответствующих значениям $\varepsilon_{1rc \text{ ср}}$ и $\frac{1}{\varepsilon_{1rc \text{ ср}}}$, найти нужную нам гиперболу и следовательно коэффициент λ_{1c} для каждой ГЭС в первом приближении с той или иной точностью. В дальнейшем для значений P_{1rc} и ε_{1rc} по соответствующей гиперболе ищутся для каждой ГЭС величины $\frac{1}{\varepsilon_{1rc}}$, Q_{1c} и P_{1rc} для любого переменного графика нагрузки энергосистемы $P_w(t)$. Причем подбираем P_{1rc} таким образом, чтобы в каждый момент времени выполнялось условие баланса мощностей (3).

Просуммировав для всех моментов времени значения Q_{1c} и найдя новые средние значения расходов $Q_{2c \text{ ср}}$ для каждой ГЭС описанным выше способом, находим следующие дискретные значения λ_{2c} и т. д. Значения коэффициентов λ между двумя смежными находим как их среднее арифметическое или по формулам (12a) и (126).

Пределы коэффициентов λ для построения сетки гипербол находятся из выражений

$$\lambda_{\max} = \frac{\varepsilon_{Г\max}}{\varepsilon_{Г\min}}; \quad \lambda_{\min} = \frac{\varepsilon_{Г\min}}{\varepsilon_{Г\max}}, \quad (14)$$

где $\varepsilon_{Г\min}$ и $\varepsilon_{Г\max}$ — наименьшая и наибольшая величина относительного прироста, имеющая место в системе ГЭС, а потому в общем случае $\varepsilon_{Г\min}$ и $\varepsilon_{Г\max}$ могут браться для различных гидроэлектростанций.

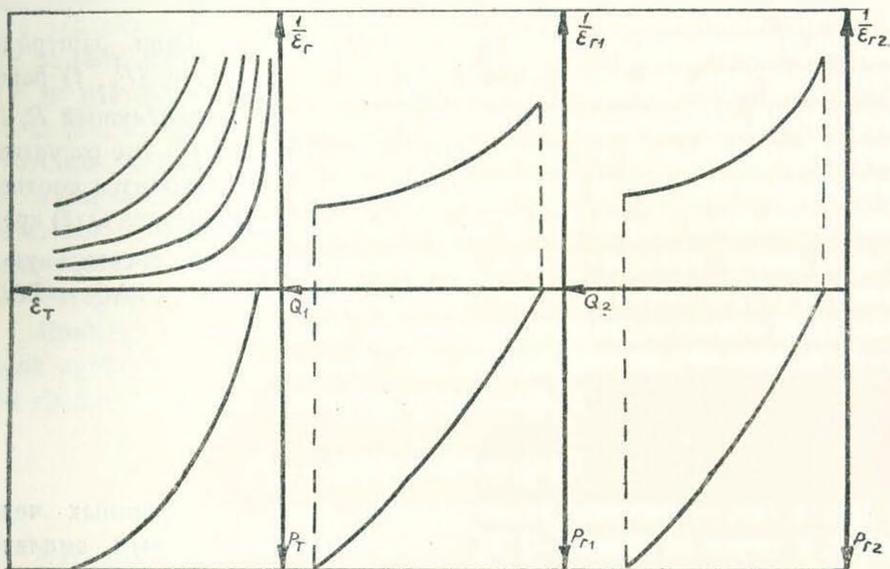


Рис. 2.

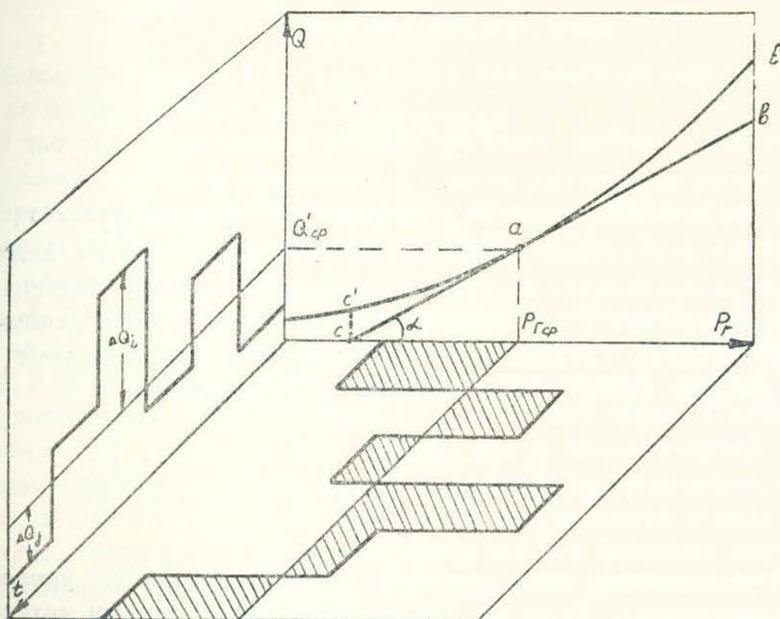


Рис. 3.

Теперь докажем, что коэффициент λ в первом приближении дает нам перерасход воды. Доказательство будет справедливо только в случае, если переменный график нагрузки ГЭС $P_r(t)$, получаемый при распределении нагрузки энергосистемы между всеми станциями по равенству приростов, будет находиться в интервале нагрузок данной ГЭС.

На рис. 3 точка a кривой $Q(P_r)$ соответствует средним значениям $Q_{гср}$ и $P_{гср}$. Предположим, что $P_{гср}$ есть среднее интегральное значение переменной нагрузки ГЭС $P_r(t)$. Тогда площади заштрихованных участков над осью $P_{гср}$ и под нею в плоскости (P_r, t) равны между собой. Обозначим амплитуды переменной составляющей $P_r(t)$ через ΔP_{ri} и ΔP_{rj} , а $Q(t)$ через ΔQ_i и ΔQ_j , где i и j — все расчетные моменты времени, когда ординаты графика $P_r(t)$ находятся соответственно над осью $P_{гср}$ и под нею. Если бы характеристика $Q(t)$ представляла собой прямую линию, например линию cb касательную к кривой $Q(P_r)$ в точке a , то $\Sigma \Delta P_{ri} \cdot tga_i = \Sigma \Delta P_{rj} \cdot tga_j$, т. е. $\Sigma \Delta Q_i = \Sigma \Delta Q_j$ и заданный объем воды реализовался бы полностью.

Для реальной кривой $Q(t)$

$$\Sigma \Delta Q_i = \Sigma \Delta P_{ri} \cdot tga_i,$$

$$\Sigma \Delta Q_j = \Sigma \Delta P_{rj} \cdot tga_j,$$

где tga_i и tga_j — тангенсы углов наклона хорд, проведенных через точку a и точки на кривой $Q(t)$, соответствующие данным амплитудам ΔP_{ri} и ΔP_{rj} .

Так как $tga_i > tga_j$ и $\Sigma \Delta P_{ri} = \Sigma \Delta P_{rj}$, то

$$\Sigma \Delta P_{ri} \cdot tga_i > \Sigma \Delta P_{rj} \cdot tga_j,$$

т. е.

$$\Sigma \Delta Q_i > \Sigma \Delta Q_j$$

и имеет место перерасход воды.

Мы предположили, что $P_{гср}$ каждой ГЭС есть среднее интегральное значение переменной нагрузки $P_r(t)$. Это получается автоматически при распределении нагрузки энергосистемы между станциями по равенству приростов и при выполнении условия баланса мощностей (3). Действительно, средние интегральные значения нагрузок всех станций должны удовлетворять условию (2) и условию

$$P_{гср} + \sum_{c=1}^{c=m} P_{гср} = P'_{иср}. \quad (15)$$

Обоим этим условиям наши средние значения нагрузок удовлетворяют по построению. Если же они не были бы средними интегральными значениями, то „истинные“ средние интегральные значения

нагрузок должны быть на одних станциях меньше, чем данное среднее, на других больше, на некоторых может быть равно ему, так, чтобы условие (15) выполнялось. Но тогда не выполняется условие (2), так как для гладких монотонных кривых $\varepsilon_T(P_T)$ и $\lambda_c \cdot \varepsilon_{TC}(P_{TC})$ не существует множества значений нагрузок, которые в сумме дают одно и то же число, в частности $P_{иср}^*$ при равенстве ординат.

Величина перерасхода воды на любой ступени расчета может быть найдена как сумма нелинейных частей приращений ΔQ в каждый момент времени при отклонении режима работы ГЭС от точки a , т. е. как сумма вертикальных отрезков, заключенных между кривой $Q(P_T)$ и касательной cb , и соответствующих значению нагрузки в каждый данный момент времени. Так как в большинстве случаев эта сумма невелика, то найденные нами уже на первой ступени расчета, значение коэффициентов λ дают достаточную точность в реализации воды, не превышающую $1-5\%$.

Рассмотрим конкретный пример:

Пример. На рис. 4 и 5 приведены характеристики ТЭС и ГЭС одной крупной энергосистемы. ГЭС высоконапорная, $H=380$ м. Суточный график нагрузки приведен на рис. 6,

$$P_{иср}^* = 175,5 \text{ мгвт},$$

$$Q_{иср} = 20,5 \text{ м}^3/\text{сек}.$$

Находим

$$P_{ГЭС} = 70 \text{ мгвт}, \quad \varepsilon_{ГЭС} = 0,776, \quad \lambda_1 = 2,48,$$

$$P_{ТЭС} = 105,5 \text{ мгвт}, \quad \varepsilon_{ТЭС} = 0,312.$$

Характеристики $\varepsilon_T(P_T)$ и $\lambda_1 \cdot \varepsilon_T(P_T)$ для удобства расчетов приведены на одном графике (рис. 7).

В таблице 1 приведены данные режима работы, построенного при условии равенства приростов.

Средний расход ГЭС получился в пределах точности расчета для условия равенства приростов равным $20,65 \text{ м}^3/\text{сек}$. т. е. перерасход воды составил всего $0,75\%$.

§ 3. Алгоритм задачи для построения экономичного режима системы с помощью вычислительной машины дискретного действия. Для построения режима используется первый способ определения постоянных коэффициентов λ , изложенный выше. Пусть характеристики ГЭС и системы ТЭС заданы нам в аналитической форме. При этом они или предполагаются разрешимыми относительно всех входящих в них переменных или специально задаются в виде прямых и обратных функций. Для нашей задачи все эти функции могут быть представлены в виде полиномов, они находятся для каждой конкретной системы один раз и обновляются только по мере надобности. График нагрузки энергосистемы задается табличным способом. Изме-

Γ тн/час

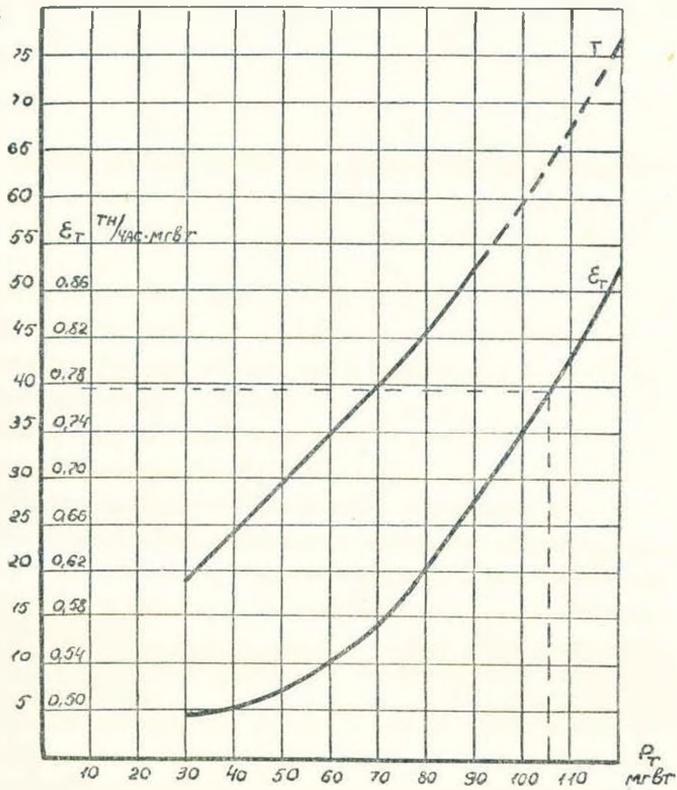


Рис. 4.

z м³/сек

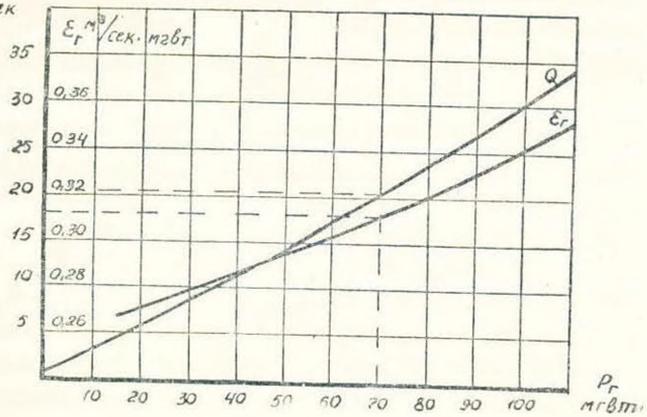


Рис. 5.

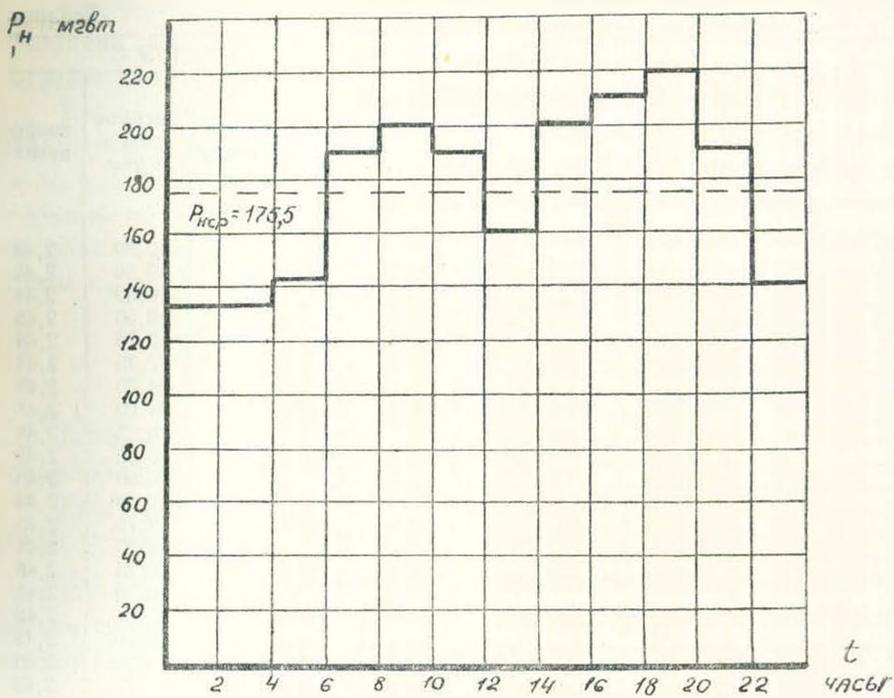


Рис. 6.

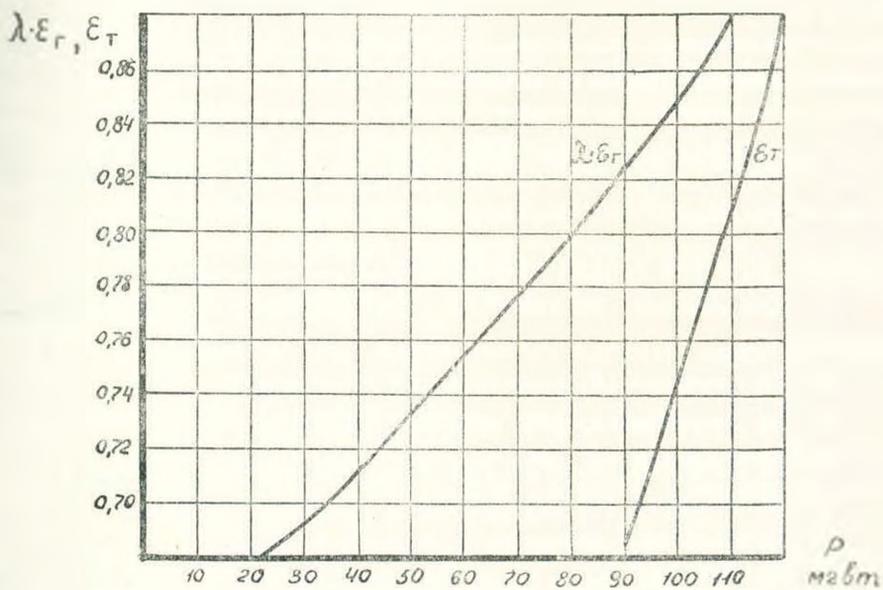


Рис. 7.

Таблица 1

Часы суток	Нагрузка системам в мвт	Величина от-носит. прироста	ТЭС		ГЭС		
			нагрузка в мвт	затраты топлива в тн/час	нагрузка в мвт	затраты воды в м³/сек	коэффи-циент λ
1	132	0,705	94,5	55,75	37,5	10,50	2,48
2	132	0,705	94,5	55,75	37,5	10,50	2,48
3	132	0,705	94,5	55,75	37,5	10,50	2,48
4	132	0,705	94,5	55,75	37,5	10,50	2,48
5	142	0,720	97,0	57,50	45,0	12,75	2,48
6	142	0,720	97,0	57,50	45,0	12,75	2,48
7	190	0,800	109,0	66,75	81,0	24,00	2,48
8	190	0,800	109,0	66,75	81,0	24,00	2,48
9	200	0,818	112,0	69,25	88,0	26,25	2,48
10	200	0,818	112,0	69,25	88,0	26,25	2,48
11	190	0,800	109,0	66,75	81,0	24,00	2,48
12	190	0,800	109,0	66,75	81,0	24,00	2,48
13	160	0,750	101,5	60,75	58,5	16,75	2,48
14	160	0,750	101,5	60,75	58,5	16,75	2,48
15	200	0,818	112,0	69,25	88,0	26,25	2,48
16	200	0,818	112,0	69,25	88,0	26,25	2,48
17	210	0,836	114,5	71,75	95,5	29,00	2,48
18	210	0,836	114,5	71,75	95,5	29,00	2,48
19	220	0,855	117,5	74,50	102,5	31,25	2,48
20	220	0,855	117,5	74,50	102,5	31,25	2,48
21	190	0,800	109,0	66,75	81,0	24,00	2,48
22	190	0,800	109,0	66,75	81,0	24,00	2,48
23	140	0,718	96,0	56,75	44,0	12,50	2,48
24	140	0,718	96,0	56,75	44,0	12,50	2,48

Среднесуточная приточность в водохранилище ГЭС в м³/сек. 20,65

Затраты топлива на ТЭС за сутки в тн. 1543

стны следующие исходные величины $P_{иср}$, P_{Tmin} , P_{Tmax} , $P_{гсmin}$, $P_{гсmax}$, $Q_{сmin}$, $Q_{сmax}$, $Q_{сср}$, V_c , ε_{Tmin} , ε_{Tmax} , $\varepsilon_{гсmin}$, $\varepsilon_{гсmax}$ и $\Delta Q_{сmin}$.

Порядок решения задачи следующий:

1) Для данных значений $Q_{сср}$ по функциям $Q_c(P_{гс})$ находятся значения $P_{1гср}$;

2) По формуле (6) определяется величина $P_{1тср}$;

3) По функциям $\varepsilon_t(P_t)$ для $P_{1тср}$ находится $\varepsilon_{1тср}$;

4) По функциям $\varepsilon_{гс}(P_{гс})$ для $P_{1гср}$ находятся $\varepsilon_{гс}(P_{1гср})$;

5) По формуле (7) определяются коэффициенты $\lambda_{1с}$;

6) Вычисляются значения $\lambda_{1с} \cdot \varepsilon_{гсmin}$ и $\lambda_{1с} \cdot \varepsilon_{гсmax}$;

7) Из значений ε_{Tmin} , ε_{Tmax} , $\lambda_{1с} \cdot \varepsilon_{гсmin}$, $\lambda_{1с} \cdot \varepsilon_{гсmax}$ выбирается одно наименьшее ε_{1min} и одно наибольшее ε_{1max} ;

8) Нагрузка системы распределяется для каждого часа суток по условию равенства приростов (2) между всеми станциями так чтобы выполнялось условие баланса мощностей (3).

Программа расчета для распределения нагрузки системы между станциями строится по алгоритму задачи экономичного распределения нагрузок между „ m “ тепловыми станциями [3].

В этой частной задаче для каждого момента времени путем последовательного деления интервала относительных приростов системы ($\varepsilon_{1\min}$, $\varepsilon_{1\max}$) находятся значения нагрузок P_T и $P_{Гс}$, удовлетворяющие в данный момент времени условию (3). Для определения значений нагрузок $P_{Гс}$ из функций $P_{Гс}(\varepsilon_{Гс})$ для данного значения прироста системы $\varepsilon_{\text{системы}}$ предварительно определяется

$$\varepsilon_{Гс} = \frac{\varepsilon_{\text{системы}}}{\lambda_{Гс}}$$

Если $\varepsilon_{Гс} > \varepsilon_{Гс\max}$, то $P_{Гс} = P_{Гс\max}$;
точно также при $\varepsilon_T > \varepsilon_{T\max}$, $P_T = P_{T\max}$.

Если $\varepsilon_{Гс} \leq \varepsilon_{Гс\min}$, то $P_{Гс} = P_{Гс\min}$;
точно также при $\varepsilon_T \leq \varepsilon_{T\min}$, $P_T = P_{T\min}$.

Распределение нагрузок между станциями можно осуществить и другим способом. Разделив интервал ($\varepsilon_{1\min}$, $\varepsilon_{1\max}$) на l равных частей, найдем нагрузку каждой станции для всех значений

$$\varepsilon_{\text{системы}} = \varepsilon_{1\min} + \frac{\varepsilon_{1\max} - \varepsilon_{1\min}}{l} i,$$

где $i=0, 1, 2, \dots, l$. Просуммировав для каждого значения $\varepsilon_{\text{системы}}$ соответствующие ему значения нагрузок всех станций, получим таблицу значений $\varepsilon_{\text{системы}}$ (P_H). В дальнейшем, зная для каждого часа величину нагрузки системы, мы по указанной таблице непосредственно определяем величину $\varepsilon_{\text{системы}}$, а затем по характеристикам относительных приростов станций для данного значения $\varepsilon_{\text{системы}}$ величину нагрузки каждой станции. Этот прием значительно сокращает время расчета по этому пункту, но несколько уменьшает его точность. Достаточную для практических расчетов точность можно получить принимая $l=10 \div 25$. Увеличение числа l примерно до 240 уже не дает выигрыша во времени.

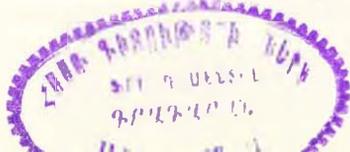
9) По функциям Q_c ($P_{Гс}$) определяются расходы воды для каждого часа суток,

10) Определяются затраты воды по формуле (8),

11) Определяются величины $\Delta V_{Гс}$ и $\Delta Q_{Гс}$ по формулам (9) и (10),

12) Сравниваются $\Delta Q_{Гс}$ и $\Delta Q_{c\min}$ для проверки выполнения условия (13),

13) Если $|\Delta Q_{Гс}| > \Delta Q_{c\min}$ хотя бы для одной ГЭС, величины $\lambda_{Гс}$, $\Delta Q_{Гс\text{ср}}$ и $P_{Гс\text{ср}}$ запоминаются и сохраняются в памяти машины до завершения двух, описанных ниже циклов.



1-ый цикл

2-ой цикл

14 а) Запоминаются значения величин λ_{nc} , ΔQ_{nc} и $P_{nc\text{ср}}$ предыдущей ступени и учитываются знаки ΔQ_{nc} . Цикл считается завершенным, если все ΔQ_{nc} отрицательны. Обозначим соответствующий этому случаю коэффициент λ через $\lambda_{(-)c}$.

15 а) Для всех положительных ΔQ_{nc} по формуле (11) определяются новые средние значения расхода $Q_{(n+1)c\text{ср}}$ и расчет ведется в изложенном выше порядке от пункта 1 до пункта 13. Для ГЭС с отрицательными ΔQ_{nc} значения $\lambda_{(n+1)c}$ и $P_{(n+1)c\text{ср}}$ принимаются равными λ_{nc} и $P_{nc\text{ср}}$.

14 б) Запоминаются значения величин λ_{nc} , ΔQ_{nc} и $P_{nc\text{ср}}$ предыдущей ступени и учитываются знаки ΔQ_{nc} . Цикл считается завершенным, если все ΔQ_{nc} положительны. Обозначим соответствующий этому случаю коэффициент λ через $\lambda_{(+)c}$.

15 а) Для всех отрицательных ΔQ_{nc} по формуле (11) определяются новые средние значения расхода $Q_{(n+1)c\text{ср}}$ и расчет ведется в изложенном выше порядке от пункта 1 до пункта 13. Для ГЭС с положительными ΔQ_{nc} значения $\lambda_{(n+1)c\text{ср}}$ принимаются равными λ_{nc} и $P_{nc\text{ср}}$.

16. Определяются значения коэффициентов λ всех ГЭС по формуле

$$\lambda_{kc} = \frac{\lambda_{(+)c} + \lambda_{(-)c}}{2}.$$

На всех остальных ступенях расчета коэффициенты λ определяются по формуле

$$\lambda_{(k+1)c} = \frac{\lambda_{ac} + \lambda_{kc}}{2},$$

где a — ближайшая к k ступень, на которой знак ΔQ_{ac} противоположен знаку ΔQ_{kc} .

В дальнейшем расчет ведется в изложенном выше порядке от пункта 6 до пункта 12. Расчет прекращается по достижении на любой ступени любого цикла условия $|\Delta Q_{kc}| \leq \Delta Q_{\text{сmin}}$ одновременно для всех ГЭС. Предложенный порядок расчета можно упростить следующим способом. Все пункты, начиная с 13-го, исключаются. Вводится новый 13 пункт со следующим содержанием:

13) Если $|\Delta Q_{kc}| > \Delta Q_{\text{сmin}}$ хотя бы для одной ГЭС, по формуле (11) определяются новые средние значения расходов $Q_{(k+1)c\text{ср}}$ и расчет продолжается, начиная с пункта 1.

Если в первом случае алгоритм построен так чтобы обеспечивалась сходимость процесса, то во втором случае, даже если сходимость и существует, доказать ее существование трудно. Поэтому второй алгоритм рекомендуется применять только тогда, когда график

нагрузки энергосистемы не носит резко переменного характера и установленные мощности ГЭС не сильно разнятся друг от друга. При построении алгоритма мы предположили, что необходимые нам характеристики заданы в аналитической форме. Однако это не является обязательным. Характеристики могут быть заданы и табличным способом, т. е. рядом дискретных значений двух переменных, которые подбираются так, чтобы реальную характеристику между двумя смежными точками можно было с достаточной точностью принять за прямую.

Пусть нам задан ряд дискретных значений x_1 и y_1 , x_2 и $y_2 \dots x_n$ и y_n некоторой характеристики $y(x)$. Для любого значения x_* , не совпадающего с одной из заданных точек, соответствующая величина y_* найдется из формулы

$$y_* = \frac{(x_* - x_k) \cdot (y_{k+1} - y_k)}{x_{k+1} - x_k} + y_k, \quad (16)$$

где x_k и x_{k+1} ближайšie к x_* наименьшее и наибольшее табличные значения x , а y_k и y_{k+1} , соответствующие им значения y .

Приведенный алгоритм используется для построения экономичного режима системы и в том случае, когда характеристики станций разрывны. Однако, при этом число ступеней расчета должно увеличиться. Пользование упрощенным вариантом алгоритма для случая разрывных характеристик не рекомендуется.

По приведенному алгоритму в Институте энергетики АН Армянской ССР составлена программа расчета для системы с ТЭС и шестью ГЭС. Программу предполагается использовать для построения экономичных режимов закавказской энергосистемы.

Վ. Գ. ԲԵԴԼՅԱՆՈՎ

ՀԻՊՐՈՎՈՅԱՆՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐ λ ՀԱՍՏԱՏՈՒՆ ԳՈՐԾԱԿՑԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿՆԵՐԸ:
ԷՆԵՐԳՈՍԻՍՏԵՄՆԵՐԻ ԷԿՈՆՈՄԻԿ ՈՒԾԻՄՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐ ԱԼԴՈՐԻԹՄԻ
ԿԱԶՄՈՒՍԸ ՅԱՆՑԵՐՈՒՄ ԱՌԱՆՑ ԿՈՐՈՒՄՏՆԵՐԻ

Ա մ փ ո վ ու մ

Հողվածում նկարագրված է էներգոսխտեմում ցանկացած քանակի հիդրոէլեկտրակայանների համար հարարերական աճի հավասարումներում λ հաստատուն գործակիցների որոշման եղանակները և առաջարկվում գիտկրեա գործողության հաշվիչ մեքենաների վրա հաշվման ալգորիթմ, միացյալ էներգոսխտեմում էկոնոմիկ սեփինների հաշվման համար առանց կորուստների, որը պահանջում է հաշվման գործողությունների նվազագույն թիվ:

Հարարերական աճի հավասարումներում λ գործակիցների որոշման գիտարկված եղանակները հիմնված են այն բանի վրա, որ նրանք որոշվում են նախապես ընտրված բևերի հաստատուն գրաֆիկի զեպքում, իսկ հետո ճշտվում են արված նորմալ գրաֆիկի համար:

Հողվածում տրված է մոտեցման բնույթի անալիզը:

*Իրատարկված է նաև մեկ ջերմոկայանի և մեկ հիդրոկայանի համար և գործակցի որոշման պրակտիկ օրինակ: Ներկայումս Հայկական ՍՍՌ Գիտությունների Ակադեմիայի էներգետիկայի ինստիտուտում բերված տվյալների վաղված է հաշվման ծրագիր վեց հիդրոկայաններով էներգոսխառման համար, որով նախատեսված է Անդրկովկասի միացյալ էներգոսխառման կառուցել էկոնոմիկ սեփմաներ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Маркович И. М. «Режимы энергетических систем». Госэнергоиздат, 1957.
2. Горкштейн В. М. «Наивыгоднейшие режимы работы гидростанций в энергетических системах». Госэнергоиздат, 1959.
3. Адонц Г. Т., Григорян Ю. Г., Адонц М. М. «Алгоритм, программа и пример расчета на ВМДД режим экономии топлива энергосистемы, связанного с выбором состояния агрегатов». «Известия АН Армянской ССР», т. XIV, № 3, 1961.

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Ю. М. ШАХНАЗАРЯН

ТОКИ И НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ПРИ
 УСТАНОВИВШЕМСЯ АСИНХРОННОМ РЕЖИМЕ
 ГИДРОГЕНЕРАТОРА*

Длительное время асинхронные режимы в электрических системах считались недопустимыми, ввиду их нежелательного воздействия на энергосистему и недостаточной их изученности.

В настоящее время в энергосистемах допускаются режимы, в которых отдельные возбужденные генераторы или группы генераторов некоторое время работают несинхронно. При этом параметры режима системы в целом или отдельных ее участков могут претерпевать значительные изменения.

Для выяснения допустимости таких режимов необходимо знать как токи в отдельных участках электрической системы, так и напряжения на отдельных ее элементах. Наличие сложной связи между параметрами режима, параметрами машины и системы не позволяют получить строгого решения получающихся уравнений. В большинстве случаев приходится ограничиваться упрощенным решением задачи, дающим общую приближенную характеристику режима.

Асинхронный режим является колебательным процессом, вызывающим периодические колебания токов, напряжений, активной и реактивной мощности. Эти колебания отрицательно влияют на работу потребителей электрической энергии и на устойчивость параллельной работы входящих в энергосистему станций.

Рассмотрим режим работы генератора с продольно-поперечными успокоительными обмотками на системы большой мощности при наличии промежуточной нагрузки, рис. 1. С целью упрощения будем считать параметры генератора и передачи линейными. Не будем учитывать насыщение машины. Скольжение будем считать положительным при скорости ротора ниже синхронной.

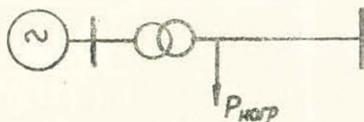


Рис. 1. Принципиальная схема.

* Настоящая статья отражает работу, выполненную автором на кафедре электрических систем, МЭИ под руководством проф. В. А. Веникова.

Для явнополюсного генератора приближенное выражение тока получим [1] через составляющие:

$$\left. \begin{aligned} I_d &= \frac{1}{1 + \frac{x_d - x_q}{Z_{11}}} \cos \alpha_{11} \left[\frac{E_d}{Z_{11}} \cos \alpha_{11} + \frac{E_q}{Z_{11}} \sin \alpha_{11} - \frac{U}{Z_{12}} \cos (\delta - \alpha_{12}) \right] \\ I_q &= \frac{E_d}{Z_{11}} \sin \alpha_{11} - \frac{E_q}{Z_{11}} \cos \alpha_{11} + \frac{U}{Z_{12}} \sin (\delta - \alpha_{12}) \end{aligned} \right\} (1)$$

Здесь в поперечной составляющей член $I_d \cdot \frac{x_d - x_q}{Z_{11}} \sin \alpha_{11}$ опущен.

При асинхронном режиме, вследствие перемещения ротора генератора относительно поля системы, в роторных контурах наводятся э. д. с. Наводимые э. д. с. определяются согласно уравнений Парка-Горева. Вводя ряд упрощающих допущений и предполагая, что постоянная времени обмотки возбуждения значительно превышает постоянные времени успокоительных обмоток [2-3] при постоянстве скольжения будем иметь:

$$\left. \begin{aligned} \Delta E_d &= -\frac{U}{Z_{12}} \cdot \frac{x_d - x_d'}{1 - \frac{x_q - x_d'}{Z_{11}} \cos \alpha_{11}} \cdot \frac{ST_d'}{1 + (ST_d')^2} \sin (\delta - \alpha_{12}) - \\ &- \frac{U}{Z_{12}} \cdot \frac{x_d - x_d'}{1 - \frac{x_q - x_d'}{Z_{11}} \cos \alpha_{11}} \cdot \frac{(ST_d')^2}{1 + (ST_d')^2} \cos (\delta - \alpha_{12}) \\ \Delta E_{d1} &= -\frac{U}{Z_{12}} \cdot \frac{x_d - x_d'}{\left(1 - \frac{x_q - x_d'}{Z_{11}} \cos \alpha_{11}\right) \left(1 - \frac{x_q - x_d'}{Z_{11}} \cos \alpha_{11}\right)} \cdot \\ &\cdot \frac{ST_d'}{1 + (ST_d')^2} \sin (\delta - \alpha_{12}) - \\ &- \frac{U}{Z_{12}} \cdot \frac{x_d' - x_d'}{\left(1 - \frac{x_q - x_d'}{Z_{11}} \cos \alpha_{11}\right) \left(1 - \frac{x_q - x_d'}{Z_{11}} \cos \alpha_{11}\right)} \cdot \\ &\cdot \frac{(ST_d')^2}{1 + (ST_d')^2} \cos (\delta - \alpha_{12}) \\ \Delta E_{q1} &= \frac{U}{Z_{12}} \cdot \frac{x_q - x_q'}{1 - \frac{x_q - x_q'}{Z_{11}} \cos \alpha_{11}} \cdot \frac{ST_q'}{1 + (ST_q')^2} \cos (\delta - \alpha_{12}) + \\ &+ \frac{U}{Z_{12}} \cdot \frac{x_q - x_q'}{1 - \frac{x_q - x_q'}{Z_{11}} \cos \alpha_{11}} \cdot \frac{(ST_q')^2}{1 + (ST_q')^2} \sin (\delta - \alpha_{12}). \end{aligned} \right\} (2)$$

где ΔE_d , ΔE_{d1} , ΔE_{q1} э. д. с. наводимые в обмотке возбуждения и в успокоительных обмотках.

С учетом наводимых э. д. с. уравнение токов (1) запишем:

$$I_d = \frac{1}{1 + \frac{x_d - x_q}{Z_{11}} \cos \alpha_{11}} \left[\frac{F_d}{Z_{11}} \cos \alpha_{11} + \frac{\Delta E_d}{Z_{11}} \cos \alpha_{11} + \frac{\Delta E_{d1}}{Z_{11}} \cos \alpha_{11} - \frac{\Delta E_{q1}}{Z_{11}} \sin \alpha_{11} - \frac{U}{Z_{12}} \cos (\delta - \alpha_{12}) \right], \quad (3)$$

$$I_q = \frac{E_d}{Z_{11}} \sin \alpha_{11} + \frac{\Delta E_d}{Z_{11}} \sin \alpha_{11} + \frac{\Delta E_{d1}}{Z_{11}} \sin \alpha_{11} - \frac{\Delta E_{q1}}{Z_{11}} \cos \alpha_{11} + \frac{U}{Z_{12}} \sin (\delta - \alpha_{12}).$$

Для простоты дальнейшей записи обозначим:

$$a = \frac{x_d - x_d'}{1 - \frac{x_q - x_d}{Z_{11}} \cos \alpha_{11}}, \quad c = \frac{x_q - x_q'}{1 - \frac{x_q - x_d}{Z_{11}} \cos \alpha_{11}},$$

$$b = \frac{x_d - x_d'}{\left(1 - \frac{x_q - x_d}{Z_{11}} \cos \alpha_{11}\right) \left(1 - \frac{x_q - x_d}{Z_{11}} \cos \alpha_{11}\right)}$$

Подставляя зависимости (2) в уравнение (3) и учитывая соответствующие обозначения, после преобразований получим:

$$I_d = \frac{1}{1 + \frac{x_d - x_q}{Z_{11}} \cos \alpha_{11}} \left\{ \frac{F_d}{Z_{11}} \cos \alpha_{11} - \frac{U}{Z_{12}} \left[\frac{a}{Z_{11}} \cdot \frac{ST_d}{1 + (ST_d)^2} \cos \alpha_{11} + \frac{b}{Z_{11}} \cdot \frac{ST_d}{1 + (ST_d)^2} \cos \alpha_{11} - \frac{c}{Z_{11}} \cdot \frac{(ST_q)^2}{1 + (ST_q)^2} \sin \alpha_{11} \right] \sin (\delta - \alpha_{12}) - \left[\frac{U}{Z_{12}} \cdot \frac{a}{Z_{11}} \cdot \frac{(ST_d)^2}{1 + (ST_d)^2} \cos \alpha_{11} + \frac{b}{Z_{11}} \cdot \frac{(ST_d)^2}{1 + (ST_d)^2} \cos \alpha_{11} + \frac{c}{Z_{11}} \cdot \frac{ST_q}{1 + (ST_q)^2} \sin \alpha_{11} + 1 \right] \cos (\delta - \alpha_{11}) \right\}, \quad (4)$$

$$I_q = \frac{E_d}{Z_{11}} \sin \alpha_{11} - \frac{U}{Z_{12}} \left[\frac{a}{Z_{11}} \cdot \frac{ST_d}{1 + (ST_d)^2} \sin \alpha_{11} + \frac{b}{Z_{11}} \cdot \frac{ST_d}{1 + (ST_d)^2} \sin \alpha_{11} + \frac{c}{Z_{11}} \cdot \frac{(ST_q)^2}{1 + (ST_q)^2} \cos \alpha_{11} - 1 \right] \sin (\delta - \alpha_{12}) - \frac{U}{Z_{12}} \left[\frac{a}{Z_{11}} \cdot \frac{(ST_d)^2}{1 + (ST_d)^2} \sin \alpha_{11} + \frac{b}{Z_{11}} \cdot \frac{(ST_d)^2}{1 + (ST_d)^2} \sin \alpha_{11} - \frac{c}{Z_{11}} \cdot \frac{ST_q}{1 + (ST_q)^2} \sin \alpha_{11} \right] \cos (\delta - \alpha_{11}).$$

$$\left. \frac{ST_q''}{1+(ST_q'')^2} \cos \alpha_{11} \left\{ \cos (\delta - \alpha_{12}) \right. \right\} \quad (4)$$

Обозначая выражение в квадратных скобках перед $\sin (\delta - \alpha_{12})$ через $D_1 (s)$ и выражение в квадратных скобках перед $\cos (\delta - \alpha_{12})$ через $D_2 (s)$ — в продольном составляющем тока и соответственно $D_3 (s)$ и $D_4 (s)$ в поперечном составляющем тока, получим:

$$\begin{aligned} I_d = & \frac{E_d}{Z_{11} \left(1 + \frac{x_d - x_q}{Z_{11}} \cos \alpha_{11} \right)} \cos \alpha_{11} - \\ & \frac{U}{Z_{12} \left(1 + \frac{x_d - x_q}{Z_{11}} \cos \alpha_{11} \right)} \{ D_1 (s) \sin (\delta - \alpha_{12}) + \\ & + D_2 (s) \cos (\delta - \alpha_{12}) \}, \end{aligned} \quad (5)$$

$$I_q = \frac{E_d}{Z_{11}} \sin \alpha_{11} - \frac{U}{Z_{12}} \{ D_3 (s) \sin (\delta - \alpha_{12}) + D_4 (s) \cos (\delta - \alpha_{12}) \}.$$

Уравнение (5) может быть представлено в виде:

$$\begin{aligned} I_d = & \frac{E_d}{Z_{11} \left(1 + \frac{x_d - x_q}{Z_{11}} \cos \alpha_{11} \right)} \cos \alpha_{11} - A \sin (\delta - \alpha_{12} + \alpha), \\ I_q = & \frac{E_d}{Z_{11}} \sin \alpha_{11} - B \sin (\delta - \alpha_{12} + \beta), \end{aligned} \quad (6)$$

где

$$\begin{aligned} A = & \frac{U}{Z_{12} \left(1 + \frac{x_d - x_q}{Z_{11}} \cos \alpha_{11} \right)} \sqrt{D_1^2 (s) + D_2^2 (s)}, \\ B = & \frac{U}{Z_{12}} \sqrt{D_3^2 (s) + D_4^2 (s)}, \\ \alpha = & \arctg \frac{D_2 (s)}{D_1 (s)}, \\ \beta = & \arctg \frac{D_4 (s)}{D_3 (s)}. \end{aligned}$$

Уравнение (6) представляет собой уравнение эллипса в параметрическом виде, центр которого не совпадает с началом координат. Геометрическим местом конца вектора тока, как это видно из приведенного рисунка 2, является эллипс, диаметры которого:

$$\begin{aligned} 2a = & \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB \sin (\beta - \alpha)} + \sqrt{A^2 + B^2 - 2AB \sin (\beta - \alpha)}, \\ 2b = & \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB \sin (\beta - \alpha)} - \sqrt{A^2 + B^2 - 2AB \sin (\beta - \alpha)}. \end{aligned} \quad (7)$$

Положение эллипса определяется углом γ образуемый большой осью с координатной осью q

$$\gamma = \arctg \frac{A^2 - B^2 + \sqrt{(A^2 - B^2)^2 + 4A^2B^2 \cos^2(\beta - \alpha)}}{2AB \cos(\beta - \alpha)} \quad (8)$$

Уравнение (6) представляет кривую биения, где половина максимума биения определяется отрезком прямой от начала координат до максимальной точки эллипса и соответственно половина минимума кривой биения — отрезком до минимальной точки эллипса (рис. 2).

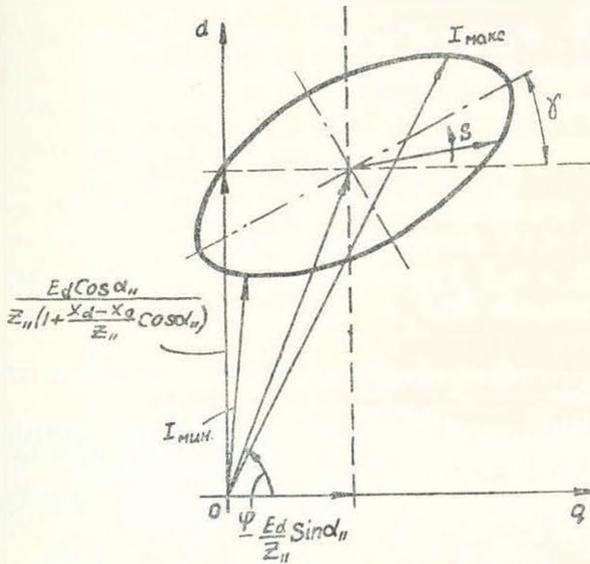


Рис. 2. Эллипс токов.

При невозбужденном генераторе и замкнутой обмотке возбуждения, центр эллипса совпадает с началом координат и максимум и минимум кривой биения определяются большим и малым полу диаметрами эллипса.

Следовательно для того чтобы получить полные значения тока генератора в асинхронном режиме с постоянным скольжением на токи эллипса определяемые при работе генератора с короткозамкнутой обмоткой возбуждения, должны быть наложены токи режима получающиеся при работе генератора на шины с напряжением равным нулю.

Составляющие падения напряжения в линии можно определить умножив уравнение (5) на соответствующее сопротивление до точки, где хотим определить напряжение, при этом надо учесть и угол внешнего сопротивления.

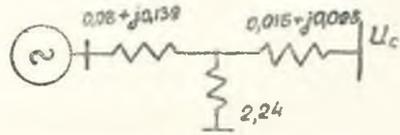


Рис. 3.

Расчетная схема электропередачи. Параметры генератора $x_d = 0,516$,

$$x_q = 0,322, x'_d = 0,180, x'_q = 0,137$$

$$T_{d0} = 5,5 \text{ сек.}, T'_{d0} = 0,0255 \text{ сек.},$$

$T'_{q0} = 0,0112 \text{ сек.}$ Сопротивления отнесены к напряжению 430 вольт.

Запишем величину напряжения на зажимах нагрузки (рис. 1) в виде:

$$U_{дн} = E_d - \frac{E_d \cdot Z_{bn} \cos \alpha_{11}}{Z_{12} \left(1 + \frac{x_d - x_q}{Z_{11}} \cos \alpha_{11} \right)} - A' \sin (\delta - \alpha'_{12} + \alpha'), \quad (9)$$

$$U_{qn} = \frac{E_d}{Z_{11}} Z_{bn} \cdot \sin \alpha'_{11} - B' \sin (\delta - \alpha'_{12} + \beta').$$

Величины A' , B' , α' и β' — определяются также, как и выше, но при их определении надо учитывать и внешнее сопротивление. Здесь Z_{bn} — полное сопротивление до точки нагрузки, включая и реактивное сопротивление генератора. В углах α_{11} и α_{12} учтено и внешнее сопротивление.

Положение эллипса напряжений и его диаметры определяются по формулам (7) и (8) с соответствующей заменой величин A' , B' , α' и β' вместо A , B , α и β . Уравнение (9) представляет кривую биения аналогично уравнению (6).

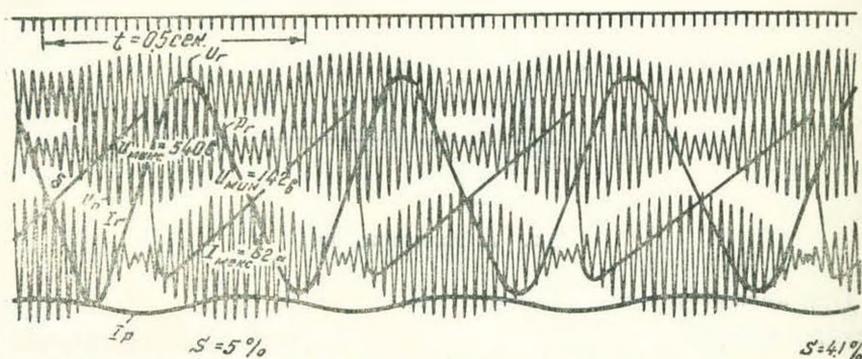


Рис. 4. Оциллограмма опыта установившегося асинхронного хода.

Не трудно представить, что для каждого значения скольжения будем иметь свой эллипс тока и напряжения.

Результаты проведенных расчетов и их сравнение с экспериментальными данными показали, что определение токов и напряжений в установившемся асинхронном режиме с достаточной для практики точностью может производиться по изложенной методике.

При работе генератора на длинную линию передачи, машину можно приближенно считать симметричной в электрическом и магнитном отношениях, что существенно облегчает расчет [4].

Предлагаемая методика расчета может быть успешно применена для расчета асинхронного хода в сложной системе, в частности при асинхронном ходе станции из трех и более станций и определение напряжения в узловой точке — определяющей устойчивость оставшихся в синхронизме станций.

В качестве примера в таблице приведено сопоставление результатов экспериментальных и расчетных значений токов и напряжений

Таблица

Нормальный режим				Режим асинхронного хода														
P_r	Q_r	U_r	U_c	s	φ град	γ град	I_1 при $U_c=0$	I_2 при $E_r=0$	$I_{\max.}$		φ' град	γ' град	$U_{1н}$ при $U_c=0$	$U_{2н}$ при $E_r=0$	$U_{н \max.}$		$U_{н \min.}$	
									расчет.	опыт.					расчет.	опыт.	расчет.	опыт.
0,486	0,093	1,02	0,996	0,10	80°30'	90°	1,51	1,92	3,40	3,37	89°	86°	0,515	0,915	1,40	1,34	0,410	0,397
				0,05	80°	90°	1,39	1,69	3,25	3,10	89°	86°	0,500	0,895	1,39	1,25	0,39	0,330
				0,03	80°	90°	1,33	1,67	3,15	3,02	89°	86°	0,500	0,890	1,38	1,25	0,39	0,330
				0,01	80°	90°	1,32	1,85	3,10	—	89°	86°	0,500	0,890	1,38	—	0,39	0,330
				0,005	80°	90°	1,32	1,85	3,10	—	89°	86°	0,500	0,890	1,38	—	0,39	0,330

для схемы рис. 3, при установившемся асинхронном ходе генератора не имеющего автоматического регулятора возбуждения.

Расчеты и измерения тока генератора и напряжения на нагрузке приведены для ряда установившихся скольжений генератора. Опытные данные для скольжения ниже $s=0,03$ не приведены в таблице так как при этих скольжениях генератор начинает втягиваться в синхронизм.

На рис. 4 для сопоставления приведена осциллограмма установившегося асинхронного хода генератора расчетной схемы при скольжении $s=0,05$.

Работа проводилась в Московском энергетическом институте на кафедре электрических систем.

Московский энергетический институт

Поступило 25 IV 1961

ՅՈՒ. Մ. ՇԱԽՆԱԶՅԱՆ

ՀՈՍԱՆՔՆԵՐԸ ԵՎ ԿՄՐՈՒՄՆԵՐԸ ԷԼԵԿՏՐՈՎԱՆ ՍԻՍՏԵՄՈՒՄ ՀԻՊՐՈԳՆԵՆԵՐԱՏՈՐՆԵՐԻ ԿԱՅՈՒՆԱՅԱԾ ԱՍԻՆԽՐՈՆ ՌԵՋԻՄԻ ԳԵՊԲՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ու լ մ

Աշխատությունում ուսումնասիրված է միջանկյալ բեռնավորումով, անփոփոխ լարման շինանների միացված, հիդրոգեններատորի կայունացած ափսխարոն ռեժիմը: Որոշակի ենթադրություններով, օգտվելով Պարկ-Գորեի հայտնի հավասարումից, գտնու է բերված գեներատորի հոսանքների և բեռնավորման սեղմակներում լարման հավասարումները (6) և (9):

Ցույց է տրված, որ այս հավասարումները իրենցից ներկայացնում են էլիպսի հավասարումը պարամետրիկ աեսքով, որի կենտրոնը չի համընկնում կոորդինատների սկզբի հետ: Էլիպսի հավասարումները (6) և (9) ըստ ժամանակի իրենցից ներկայացնում են բարախման կորը, որտեղ բարախման մարսիմումի կերտ որոշվում է ուղիղ հատվածով, սկսած կոորդինատների սկզբից՝ մինչև էլիպսի մարսիմում հեռացված կետը և համապատասխանորեն բարախման կորի մինիմումի կետը, ապա ուղիղ հատվածով՝ սկսած կոորդինատների սկզբից մինչև էլիպսի մինիմում հեռացված կետը:

Բերված աղյուսակից, որտեղ արտացոլված են հաշվման և էքսպերիմենտալ արդյունքները՝ կատարված իրենկրետ սխեմայի համար (նկ. 3), երևում է, որ առաջարկված բանաձևերը տալիս են պրակտիկ հաշվումների համար բավականին ընդունելի արդյունքներ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Лебедев С. А. и Жданов П. С. Устойчивость параллельной работы электрических систем. Госэнергоиздат, 1934.
2. Веников В. А. Дальние электропередачи, Госэнергоиздат, 1960.
3. Веников В. А. и Жуков Л. А. Переходные процессы в электрических системах. Госэнергоиздат, 1953.
4. Маликонянц Л. Г., Совалов С. А., Хачатуров А. А. Асинхронные режимы, не-синхронные включения и ресинхронизация генераторов Куйбышевской ГЭС. „Электричество“, № 11, 1957.
5. Урусов И. Д. Линейная теория колебаний синхронной машины. Издательство АН СССР, 1960.

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА

Б. Е. САФАРОВ

УНИВЕРСАЛЬНАЯ СВЯЗЬ РАСХОДА С ОБОРОТНОСТЬЮ
И ОТКРЫТИЕМ НАПРАВЛЯЮЩЕГО АППАРАТА
ПРОПЕЛЛЕРНЫХ ТУРБИН

У нас в стране, как известно, ведутся работы по объединению энергосистем. В связи с этим вопросы автоматического регулирования гидростанций приобретают первостепенное значение. На автоматическое регулирование оказывают влияние неустановившиеся процессы имеющие место во время переходных режимов работы ГЭС. Методика расчета этих режимов работы станций начинает базироваться на новой основе, а именно, на использовании счетно-решающей техники и электроники. Для того, чтобы дать задание счетно-решающим машинам непрерывного или дискретного действия, необходимо иметь в виде аналитических выражений уравнения работы отдельных звеньев силовой части ГЭС, к которым относятся уравнения: трубопровода или напора, расхода через турбину, движущего момента агрегата, автоматического регулятора скорости, напряжения, частоты, нагрузки и т. д.

В данной работе стояла задача нахождения одного из вышеуказанных уравнений—связи изменения расхода воды в турбине с оборотностью и открытием направляющего аппарата.

Определению этого уравнения были посвящены некоторые работы М. А. Мосткова, Н. А. Каргвелишвили, Г. И. Кривченко и других авторов [1, 2, 3].

Структура уравнений и аналитических зависимостей, полученные этими авторами, дают связь изменения расхода с изменением открытия, оборотов и напора для радиально-осевых турбин.

В данной работе, с целью получения вышеуказанной связи для пропеллерных турбин, за основу принимается характеристическое уравнение, выведенное В. Н. Пинегиным [4], которое имеет вид:

$$A\omega^2 - D\omega Q + CQ^2 = 2gH. \quad (1)$$

Это уравнение связывает расход Q , напор H и угловую скорость вращения ω при различных установившихся режимах работы реактивной турбины.

Здесь $A = r_1^2 - r_2^2$, где r_1 и r_2 соответственно входной и выходной радиусы натекания и схода воды с лопастей рабочего колеса,

$$D = 2 \left[\frac{r_1}{A_1 \cdot \operatorname{tg} \beta_1} + \frac{r_2}{A_2 \operatorname{tg} \alpha_2} \right], \quad (2)$$

$$C = \frac{1}{A_1^2} \left(\frac{1}{\operatorname{tg} \alpha_1} + \frac{1}{\operatorname{tg} \beta_1} \right)^2 + \frac{1}{A_2^2} \left(\frac{1}{\operatorname{tg} \alpha_2} + \frac{1}{\operatorname{tg} \beta_2} \right)^2 + \frac{1}{A_2^2 \sin^2 \alpha_2} + \frac{1}{\varepsilon^2 A_2^2}, \quad (3)$$

где A_1 и A_2 — входная и выходная площади протекания воды на рабочем колесе,

$$\varepsilon = \frac{Q}{A_2 \cdot u_r}, \quad u_r = \sqrt{2gh_r},$$

h_r — потери напора, $\alpha_1, \beta_1, \alpha_2, \beta_2$ — углы, взятые из треугольников скоростей.

Видно, что коэффициенты D и C весьма сложные функции углов между векторами скоростей в турбине и зависят от кинематики потока, которая определяется при прочих равных условиях открытием направляющего аппарата и углом установки лопастей рабочего колеса.

Определение этих коэффициентов в каждом конкретном случае вызывало бы большие трудности и условности, так как при различных режимах работы турбины, будут различными соотношения векторов в треугольниках скоростей на разных радиусах и, кроме того, возможны случаи ударного натекания и выхода струи с отрывом с лопастей рабочего колеса.

Исходя из этих соображений, задача нахождения коэффициентов A, C, D была решена путем обработки готовых имеющихся универсальных характеристик различных реактивных турбин.

Так как поставлена задача получить требуемую зависимость для пропеллерных турбин, а у них $r_1 = r_2$ и значит $A = 0$, то уравнение (1) примет вид:

$$CQ^2 - D\omega Q = 2gH. \quad (4)$$

Уравнение (4) в координатах ω, Q изображается кривой второго порядка.

Полагая $H = 1$ и для возможности пользования данными универсальных характеристик без их пересчета на другой напор, выразив

$$\omega = \frac{\pi n}{30} \text{ и обозначив } B = D \cdot \frac{\pi}{30}, \text{ получим:}$$

$$CQ^2 - BnQ = 2g. \quad (6)$$

Для определения коэффициентов C и B по уравнению (5), с универсальных характеристик турбин Пр-495, Пр-955, Пр-245, Пр-587, При-510, Пр-70 при нескольких углах установки лопастей рабочего колеса — φ , от $(-5^\circ \text{ до } +15^\circ)$, были отдельно вычерчены кривые $Q = f(n)$ при $a = \text{const}$. Всего было использовано 23 универсальных характеристик пропеллерных турбин с $n_s = 300 \div 700$. Как показала их обработка в рабочей зоне работы, вблизи максимума к.п.д. кривые $Q f(n)$ с $a = \text{const}$ с достаточной степенью точности можно заменить прямыми, сходящимися в продолжении в одной точке (рис. 1).

Каждой кривой расхода по оборотам с постоянным открытием соответствует свой коэффициент C и B . На каждой прямой, заменяющей кривую, были взяты значения Q и n в двух точках, причем, одна точка бралась при малых, а другая при больших оборотах, которые выше и ниже значения $n_{\text{опт}}$ на $40 \div 60\%$.

Величины Q и n подставлялись в уравнение (5) и, в результате решения двух уравнений с двумя неизвестными, определялись C и B .

На (рис. 2) представлена графическая связь коэффициентов C и B от относительного открытия направляющего аппарата. Каждой кривой (рис. 2) соответствует одна обработанная универсальная характеристика с определенной оптимальной быстроходностью — n_{ϵ} и углом установки лопастей рабочего колеса — φ . Максимальное относительное открытие $p_{\text{макс}} = \frac{a_{\text{макс}}}{a_{\text{опт}}} \cdot \frac{1}{1.4} = 1$.

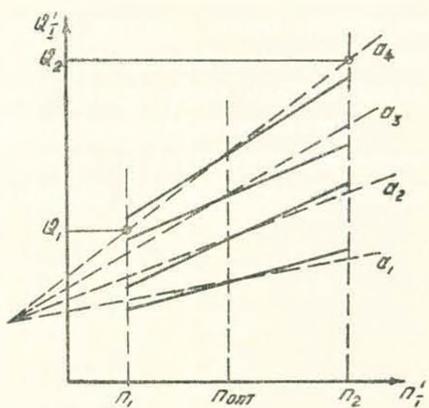


Рис. 1.

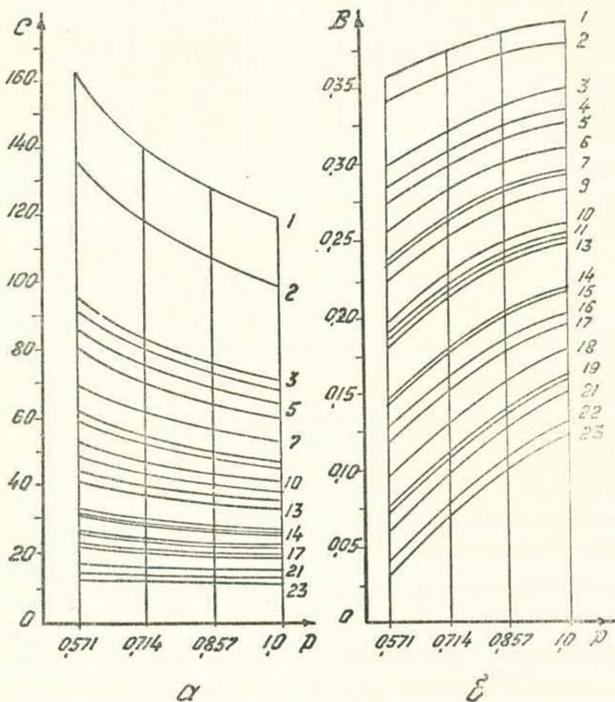


Рис. 2.

Такое обозначение принято для дальнейшего получения аналитического выражения кривых (рис. 2) по методике, приведенной в [5]. Относительное открытие, соответствующее $a_{\text{опт}}$, будет, следовательно,

$$\rho_{\text{опт}} = \frac{a_{\text{опт}}}{a_{\text{опт}}} \cdot \frac{1}{1,4} = 0,714.$$

По рис. 2 видно, что кривые располагаются в определенной закономерности: через каждую точку плоскости проходит лишь одна кривая и, следовательно, нужную кривую можно построить по одной какой-нибудь характерной точке, принадлежащей данной кривой.

Значения точек всех кривых (рис. 2), соответствующие оптимальному открытию, т. е. при $\rho = 0,714$, расположены (на рис. 3) по признаку оптимальной быстроходности — n_s , вычисленной для каждой

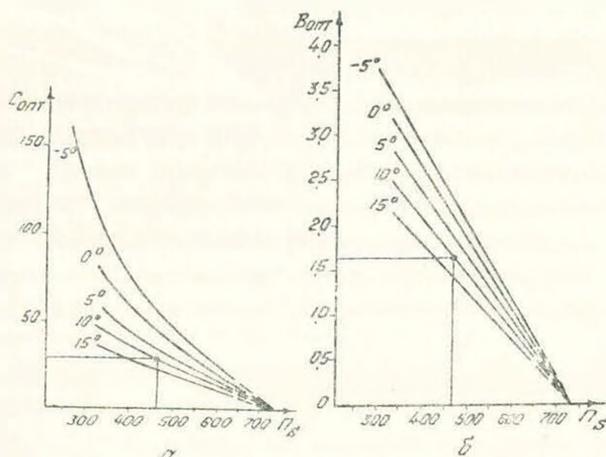


Рис. 3.

кривой по соответствующей универсальной характеристике и по углу установки лопастей рабочего колеса — φ . Точки, которым отвечают одинаковые углы, соединены. Кривые (рис. 3) показывают значения C и B при оптимальном открытии.

Графические зависимости (рис. 2, 3) являются универсальными, т. е. дают возможность по известным n_s и φ найти связь $C = C(p)$ и $B = B(p)$, а по ним, пользуясь уравнением (5), зависимость $Q = f(n, a)$ в форме:

$$n = \frac{C(p) \cdot Q^2 - 2g}{B(p) \cdot Q} \quad (6)$$

Если выразить кривые $C(p)$, $B(p)$ (рис. 2) аналитически, то уравнение (6) будет представлять непрерывную функциональную зависимость, нахождение которой является целью данной работы.

Для аналитического выражения кривых (рис. 2) использована методика, данная в [5], которая предполагает совпадение аппроксимируемой с аппроксимирующей кривой заданным количеством общих точек. Для данных кривых достаточно ограничиться четырьмя общими точками. По указанной методике кривые (рис. 2) перестроены на (рис. 4) путем приведения ординат точек всех кривых с абсциссой

$P=0,571$, то есть значений C_1 и B_1 в одну точку с ординатой, равной единице. Значения ординат остальных точек пересчитаны относительно C_1, B_1 . Таким образом, на (рис. 4) получены кривые K_C и K_B .

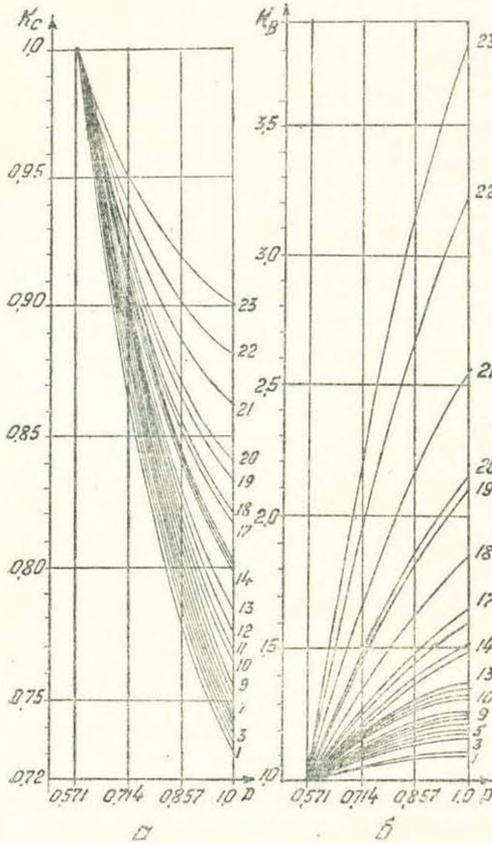


Рис. 4.

$$K_C = \frac{C}{C_1}, \quad K_B = \frac{B}{B_1}. \quad (7)$$

Всякую кривую (рис. 4) можно выразить аналитически кривой третьего порядка:

$$\begin{aligned} K_C &= K_{C0} + K_C(p) = K_{C0} + (1-p)(a_C + b_C \cdot p + d_C \cdot p^2), \\ K_B &= K_{B0} + K_B(p) = K_{B0} + (1-p)(a_B + b_B \cdot p + d_B \cdot p^2). \end{aligned} \quad (8)$$

Здесь K_C и K_B текущие координаты по оси ординат,
 K_{C0}, K_{B0} — значения K_C и K_B при $p = 1$,
 a, b, d — постоянные коэффициенты для каждой кривой.

Для определения параметров по выражению (8) составлены три уравнения при трех открытиях направляющего аппарата:

$$p_1 = 0,571; \quad p_2 = 0,714; \quad p_3 = 0,857,$$

этим заставляя аппроксимирующую кривую проходить обязательно и через точку аппроксимируемой кривой с $p=0,714$, соответствующей оптимальному открытию:

$$\frac{K_C - K_{C0}}{1 - p_1} = 2,333 \cdot (K_{C1} - K_{C0}) = a_C + b_C \cdot 0,571 + d_C \cdot 0,326,$$

$$\frac{K_C - K_{C0}}{1 - p_2} = 3,5 \cdot (K_{C2} - K_{C0}) = a_C + b_C \cdot 0,714 + d_C \cdot 0,51, \quad (9)$$

$$\frac{K_C - K_{C0}}{1 - p_3} = 7,0 \cdot (K_{C3} - K_{C0}) = a_C + b_C \cdot 0,857 + d_C \cdot 0,735,$$

где K_{C1} , K_{C2} , K_{C3} модульные коэффициенты при p_1 , p_2 , p_3 соответственно, причем $K_{C1} = 1$ по построению.

Решение системы уравнений (9) относительно a_C , b_C , d_C дает $a_C = 34,998 + 69,992 \cdot K_{C_1} - 83,993 \cdot K_{C_2} - 20,995 \cdot K_{C_3}$,

$$b_C = -89,826 - 220,474 \cdot K_{C_1} + 244,978 \cdot K_{C_2} + 65,319 \cdot K_{C_3},$$

$$d_C = 57,161 + 171,481 \cdot K_{C_1} - 171,484 \cdot K_{C_2} - 57,156 \cdot K_{C_3}.$$

Для определения a_C , b_C , d_C , по уравнениям (9) на (рис. 4) были взяты значения K_{C_2} , K_{C_3} , K_{C_1} со всех кривых.

По выражению (8) видно, что при

$$p = 0,571, K_C = 1.$$

Таким образом, вычисленная кривая (рис. 4) с фактической будет иметь четыре общие точки при p_1 , p_2 , p_3 и $p_0 = 1$, но практически они совпадают всеми точками. Коэффициенты a_C , b_C , d_C определенные для всех 23-х кривых (рис. 4-а), занесены в таблицу (1а). Все вышеуказанные зависимости справедливы и для коэффициента B . Найденные аналогичным образом a_B , b_B , d_B занесены в таблицу (1б).

(Рис. 5) представляет зависимость C_1 , B_1 от K_{C_0} , K_{B_0} , которая получена по данным (рис. 4). Эта зависимость также занесена в таблицу (1).

Как уже указывалось, по n_s и φ определяются коэффициенты $C_{\text{опт}} = C_2$, $B_{\text{опт}} = B_2$ по (рис. 3). Для того, чтобы по n_s и φ можно было непосредственно определять C_1 , B_1 , которые нужны для окончательного уравнения, на (рис. 5) нанесены также и зависимости C_2 , B_2 от K_{C_0} , K_{B_0} , полученные также по (рис. 4). Таким образом, (рис. 5) представляет связь C_1 и K_{C_0} от $C_{\text{опт}}$. Аналогично и для B_1 и K_{B_0} от $B_{\text{опт}}$.

На (рис. 6) показан результат объединения данных (рис. 3) и (рис. 5), которое можно было осуществить ввиду общности их ординат.

По уравнениям (7, 8) имеем

$$C(p) = C_1 \cdot K_C = C_1 \cdot K_{C_0} + C_1 \cdot (1 - p)(a_C + b_C \cdot p + d_C \cdot p^2),$$

$$B(p) = B_1 \cdot K_B = B_1 \cdot K_{B_0} + B_1 \cdot (1 - p)(a_B + b_B \cdot p + d_B \cdot p^2). \quad (10)$$

После подстановки его в уравнение (6) получим:

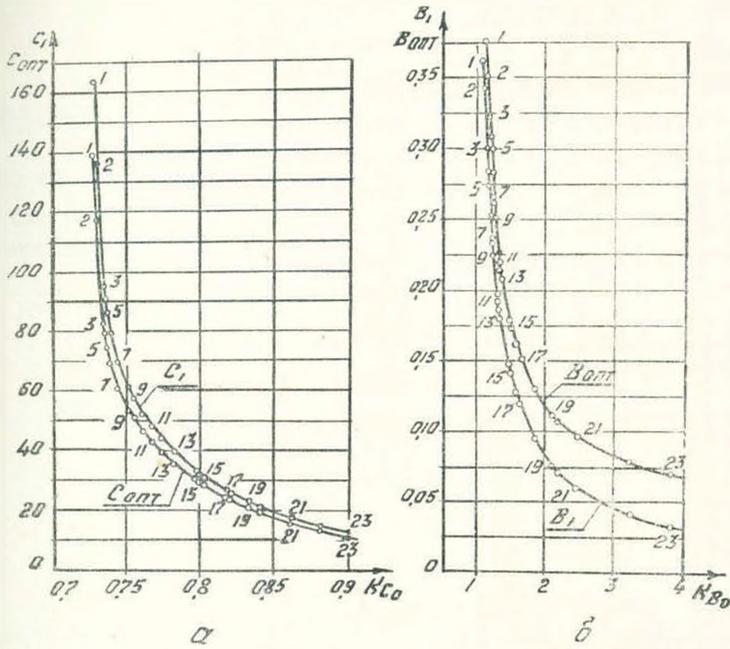


Рис. 5.

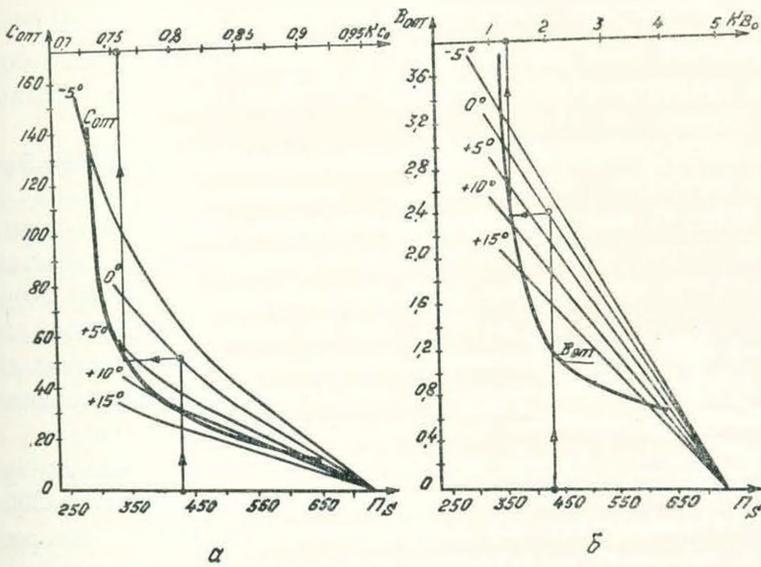


Рис. 6.

$$n = \frac{[C_1 \cdot K_{C_0} + C_1 \cdot (1-p)(a_C + b_C \cdot p + d_C \cdot p^2)] \cdot Q^2 - 2g}{[B_1 \cdot K_{B_0} + B_1 \cdot (1-p)(a_B + b_B \cdot p + d_B \cdot p^2)] \cdot Q} \quad (11)$$

Уравнение (11) выражает связь между n , Q и p и справедливо для всех установившихся режимов работы турбины.

Пример. Необходимо найти зависимость $n = f(Q, a)$ для пропеллерной турбины Пр—587 с открытием лопастей рабочего колеса $\varphi = 0^\circ$ и $n_s = 328$, характеристика которой не была использована при разработке данной универсальной зависимости.

1) По (рис. 6) для $n_s = 327$ и $\varphi = 0^\circ$ определяются

$$K_{C_0} = 0,735 \text{ и } K_{B_0} = 1,167.$$

2) Из таблицы (1) по известным K_{C_0} и K_{B_0} находятся

$$\begin{aligned} a_C &= 1,492; & b_C &= -1,954; & d_C &= 0,745; \\ C_1 &= 95,5; & a_B &= -0,465; & b_B &= -0,077; \\ d_B &= 0,523 & B_1 &= 0,3. \end{aligned}$$

3) По формуле (11) имеем:

$$n = \frac{[95,5 \cdot 0,735 + 95,5 \cdot (1-p)(1,492 - 1,954 \cdot p + 0,745 \cdot p^2)] \cdot Q^2 - 19,62}{[0,3 \cdot 1,167 + 0,3(1-p)(-0,465 - 0,077 \cdot p + 0,523 \cdot p^2)] \cdot Q}$$

Если задаться $\frac{a}{a_{\text{out}}} = 0,85$, т. е. $p = \frac{0,85}{1,4} = 0,607$, то основное уравнение преобразуется в

$$n = 294 \cdot Q - \frac{627}{Q}$$

В рабочей зоне работы турбины данное уравнение с большой степенью точности можно построить по двум крайним точкам как прямую линию.

Задаваясь $Q_1 = 0,65 \text{ м}^3/\text{сек}$, $Q_2 = 0,75 \text{ м}^3/\text{сек}$, получаем $n_1 = 94,5 \text{ об/мин}$, $n_2 = 136,6 \text{ об/мин}$.

На (рис. 7) построена зависимость $Q = f(n)$ при $a = \text{const}$, снятая с универсальной характеристики турбины Пр 587 и вычисленная по предлагаемой формуле. Как видно, для практических целей данный метод дает вполне приемлемые результаты.

Наиболее точные данные получаются для турбин с $n_s = 300 \div 600$. При $n_s = 650$ ошибка по расходу, при $n = \text{const}$, возможна порядка $5 \div 7\%$.

Таким образом уравнение (11) дает достаточно точные результаты и может быть использовано при системных расчетах на вычислительных машинах дискретного действия.

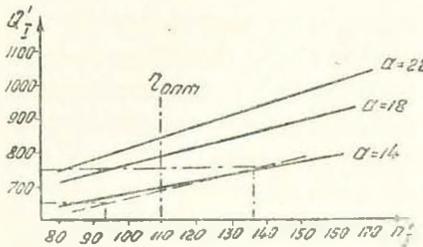


Рис. 7.

Таблица 1а

Таблица 1б

K_C	a_C	b_C	d_C	C_1	K_B	a_B	b_B	d_B	B_1
0,730	1,639	-2,256	0,859	163,0	1,107	-0,216	-0,289	0,403	0,360
0,733	1,576	-2,158	0,859	136,0	1,120	-0,349	-0,077	0,346	0,343
0,735	1,492	-1,954	0,745	95,5	1,167	-0,465	-0,077	0,523	0,300
0,737	1,422	-1,774	0,630	92,0	1,188	-0,588	0,029	0,403	0,286
0,739	1,324	-1,526	0,481	86,0	1,200	-0,643	0,039	0,472	0,275
0,742	1,275	-1,433	0,448	80,0	1,220	-0,769	0,086	0,632	0,257
0,746	1,247	-1,397	0,442	69,5	1,244	-0,823	0,233	0,289	0,237
0,750	1,205	-1,317	0,402	61,5	1,250	-0,809	0,306	0,460	0,235
0,754	1,176	-1,291	0,413	58,5	1,270	-0,979	0,314	0,518	0,224
0,763	1,128	-1,203	0,345	53,0	1,320	-1,118	0,522	0,575	0,196
0,768	1,121	-1,178	0,402	48,3	2,350	-1,259	0,559	0,518	0,190
0,775	1,072	-1,154	0,345	44,0	1,350	-1,378	0,722	0,455	0,185
0,783	1,023	-1,065	0,282	40,5	1,370	-1,469	0,486	0,461	0,180
0,798	0,953	-0,974	0,231	33,0	1,400	-1,678	0,771	0,290	0,147
0,800	0,932	-0,949	0,236	32,0	1,520	-1,782	0,771	0,393	0,143
0,801	0,918	-0,925	0,230	31,5	1,600	-1,958	0,779	0,347	0,129
0,816	0,869	-0,881	0,196	26,7	1,650	-2,058	0,786	0,405	0,119
0,820	0,848	-0,848	0,173	26,2	1,850	-2,058	0,818	0,634	0,095
0,833	0,752	-0,770	0,116	23,0	2,120	-3,353	0,952	0,720	0,076
0,840	0,750	-0,722	0,111	22,0	2,150	-3,611	1,197	0,721	0,073
0,862	0,681	-0,659	0,105	17,0	2,550	-5,107	2,277	0,579	0,060
0,881	0,610	-0,642	0,116	14,5	3,250	-7,626	3,305	1,038	0,040
0,901	0,540	-0,640	0,174	12,0	3,850	-9,446	3,906	1,526	0,031

Բ. Ե. ՍԱՅԱՐՈՎ

ՊՐՈՊԵԼԼԵՐԱՅԻՆ ՏՈՒՐԲԻՆՆԵՐԻ ԵԼՔԻ, ՆՐԱ ՊՏՈՒՅՏՆԵՐԻ ԹՎԻ ԵՎ ՈՒՂՂԻՉ ԱՊԱՐԱՏԻ ԲԱՅՎԱԾՔԻ ՄԻՋԵՎ ԵՂԱԾ ՈՒՆԱՎԵՐԱՎԱԿԱՊԸ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Էլեկտրոնիկայի և հաշվողական տեխնիկայի օգտագործման շնորհիվ Լենրգոսիստեմների չհաստատոված աշխատանքային ռեժիմների հաշվման եղանակները սկսում են տեղափոխվել նոր հիմքերի վրա: Հաշվման այդ նոր եղանակները սրահանջում են սխտեմում տեղի ունեցող բոլոր ֆիզիկական երևույթներն արտահայտել անալիտիկ ձևով, որոնցից մեկը դիտվում է ներկա հոդվածում:

Այստեղ նույնտակ է գրվում պոնել հիդրոտուրբինից ջրի Լրքի կապը կախված նրա ստույգների թվից և ուղղիչ ասլարատի բացվածքից: Այն անհրաժեշտ է հիդրոէլեկտրակայանի ուժային մասի առանձին օղակների աշխատանքը արտահայտող հավասարումների հետ միասին լուծելու համար:

Որպես հիմք վերցված է (1) հավասարումը, որի գործակիցները բավականին բարդ ֆունկցիաներ են՝ արագության վեկտորների կազմած անկյուններից: Որովհետև այդ հավասարման գործակիցները հնարավոր չէ տեսակաՆորեն որոշել, ուստի և խնդիրը լուծված է հիդրոտուրբինների ունիվերսալ բնութագրերի մշակմամբ:

Դիտարկված է $\Lambda = O$ դեպքը, որն համասպատասխանում է սրբույելլերային տուրբիններին:

Աշխատանքի արդյունքները թույլ են տալիս ըստ սլոտայկլերային տորբինի արադրնիբացության n_s գործակցի և աշխատող անիվի թիակների տեղակայման φ անկյան, դժագիր 6-ի և ալյուսակ I-ի միջոցով որոշել (11) հավասարման սրունքի գործակիցները:

Ունենալով հիշյալ գործակիցները (11) բանաձևի օգնությամբ կարելի է որոշել տորբինի ելքը, կախված ուղղի: ապարատի բացվածքից և տորբինի պտույտների թվից: Գծագիր 7-ում բերված փորձնական հոծ գծերի և (11) բանաձևով հաշված կտրտված գծիկների համեմատությունը ապացուցում է (11) բանաձևի ճիշտ լինելը և հիմք է տալիս այն առաջադրելու ինժեներական հաշվումներ կատարելու համար:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Мостков М. А. Гидравлический удар в гидравлических станциях. Л.—М., 1938.
2. Картвелишвили Н. А. Неустановившиеся режимы в силовых узлах гидроэлектрических станций. Госэнергоиздат, 1951.
3. Кривченко Г. И. Уточненные методы расчета гидравлического удара. „Гидротехническое строительство“, № 10, 1947.
4. Пинегин В. И. Гидравлические двигатели. Изд. 1934, ОНТИ НКТН.
5. Сафаров Е. Д. Аналитический способ выражения кривых обеспеченности. „Известия АН Армянской ССР“ ОТН, том II, № 4, 1949.

ИНЖЕНЕРНАЯ СЕЙСМОЛОГИЯ

Б. К. КАРАПЕТЯН

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ
КОЛЕБАНИЙ ХАРАКТЕРНЫХ ЗДАНИЙ г. ЕРЕВАНА

1. Постановка исследования

Исследование зданий возведенных в различных частях г. Еревана осуществлялось в 1960 году, путем производства записи микросейсмических колебаний. По полученной записи колебаний определялись динамические характеристики зданий, обуславливающие величину коэффициента динамичности, необходимого при расчете на сейсмическую нагрузку; проводилось исследование взаимодействия между фундаментом здания и его основанием (грунтом); изучались форма упругой оси и высшие тона при свободных колебаниях и др.

Проведено экспериментальное исследование 38 зданий, имеющих различные конструктивные решения, этажности и основанных на различных грунтах, по ранее описанной нами методике [1]. Наиболее полные данные получены по зданиям имеющим каменные несущие стены системы «мидис» (27 зданий), ввиду того, что строительство г. Еревана, в основном, ведется из кладки такой системы. Все возведенные к моменту настоящих исследований здания с другими конструктивными формами несущих стен также были изучены, а именно: исследованы пять крупно-панельных зданий, одно здание с несущими стенами из камней правильной формы, одно здание из составных каменных блоков, два здания из естественных каменных блоков, а также два здания с железобетонным каркасом. Каменные здания имели высоту 1—6 этажей, железобетонные здания — 7 и 10 этажей. В каменных зданиях, в основном, перекрытиями являлись сборные пустотелые железобетонные балки настилы, чердачными перекрытиями — сборные фермы настилы, а иногда и деревянные перекрытия. Основанием для зданий служили различные грунты: в Шаумянском массиве и прилегающем участке ЭКУ — базальты, покрытые тонким слоем белозема; в Чарбахе — цементированные галечники; в Аване — туфы; в Вардашене — коренные глины; в районе между заводом им. С. М. Кирова и железнодорожным воклазом — суглинки-супеси.

Запись микросейсмических колебаний производилась с помощью передвижной сейсмической лаборатории, имеющей в качестве оборудования осциллографы ПОБ-12, вибрографы ВЭГИК и сейсмоприемники СПМ-16. Колебания записывались с помощью ВЭГИК и СПМ-16 в двух взаимно-

перпендикулярных направлениях, в здании на уровне перекрытий каждого этажа, в основном, на лестничных площадках, на грунте поблизости от здания и на некотором расстоянии от него. Регистрация колебаний осуществлялась на осциллографе ПОВ-12, установленном в передвижной сейсмической лаборатории, оборудованной на машине.

Производство записи, наряду с колебаниями здания, также колебаний грунта было необходимо для изучения явления передачи возмущения от грунта зданию. Колебания грунта записывались на различных расстояниях от здания, для выявления обратного влияния здания на грунт.

В выполнении настоящей работы участвовали: и. о. инженера Р. Вартамян, ст. лаборант Г. Мароян, лаборант К. Хачатрян и ст. preparator Л. Момджян, которым автор выражает свою благодарность.

II. Данные по некоторым зданиям

Из-за относительно большого количества испытанных зданий, не представляется возможным в статье небольшого объема привести весь полученный материал. Поэтому мы ограничиваемся кратким описанием исследованных зданий и приводим основные данные полученные по некоторым из них.

Трехэтажный жилой дом № 1 на участке ЭКУ в 1959 году был испытан на действие сейсмозврывных волн. В 1960 году были произведены наблюдения колебаний этого здания от микросейсм. Размеры здания в плане $54,9 \times 12,5$ м, высота 12,0 м. Кладка стен из арктического туфа на растворе марки 25.

Основная частота колебаний, замеренная с помощью ВЭГИК, получилась равной 5,4 герца. Был получен также второй тон колебаний (с помощью СПМ-16), равный 10—13 герц. Эту частоту колебаний можно приписать и «собственной» частоте колебаний грунта, которая находится в этих же пределах, но мы склонны считать, что это есть также второй тон колебаний здания, вызываемый вследствие резонанса с частотой колебаний грунта. Помимо этого, такая частота в здании наблюдалась и после прекращения колебаний грунта при взрыве.

Здесь необходимо отметить еще один очень существенный момент, а именно: запись колебаний на грунте и в здании на том же уровне получилась существенно разнящейся, что следует объяснить влиянием фактора взаимодействия между фундаментом здания и его основанием (грунтом).

Жилой дом № 2 на участке ЭКУ однотипен с жилым домом № 1 и находится от него на расстоянии примерно 40 м.

Пример записи микросейсмических колебаний этого здания приведен на рис. 1. Первая снизу кривая — запись колебаний грунта, вторая — колебание на уровне пола I этажа, третья — колебание на уровне пола II этажа, пятая — колебание на уровне пола III этажа, шестая — колебание чердачного перекрытия, записанные с помощью ВЭГИК; четвертая кривая — колебание пола III этажа, записанное с помощью СПМ-16. Колебания записаны в направлении наименьшей жесткости здания.

Частота колебаний грунта получилась в пределах 35—40 герц. Основная частота колебаний здания по записям в направлении наименьшей жесткости оказалась равной 5,8 герц. При записи в направлении наибольшей жесткости здания помимо частоты в 5,8 герц была обнаружена также частота в 11 герц, которую мы склонны считать второй частотой колебаний здания. На частоту колебаний грунта 35—40 герц иногда накладывалась

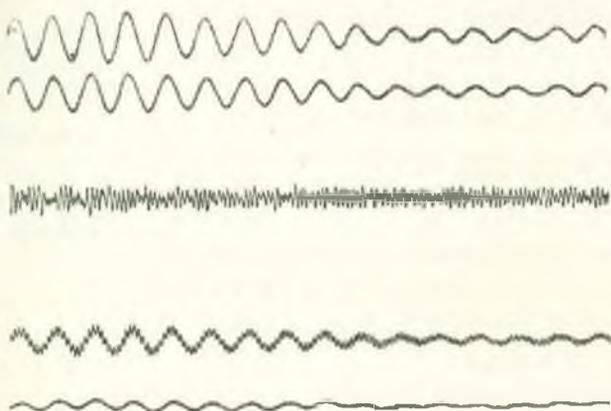


Рис. 1.

частота 5,8 герц, что следует приписать частоте колебаний здания, с которой оно оказывает обратное действие на грунт. Этот вопрос очень интересный. Он наблюдается и в других наших опытах, и, по всей вероятности, такой результат экспериментально получен впервые.

По записи колебаний построена упругая линия этого здания, которая приведена на рис. 2. Как не трудно заметить, упругая линия получалась прямой, пересекающей с осью здания у основания фундамента. Таким образом, можно прийти к заключению, что при микросейсмических колебаниях данного здания происходит его поворот вокруг оси проходящей под подошвой фундамента.

С целью проверки влияния на частоту колебаний здания его заселения, т. е. установки мебели и присутствия жильцов, нами повторно были исследованы колебания зданий № 1 и № 2 на участке ЭКУ. Была произведена одновременная запись колебаний обоих этих зданий. Частоты колебаний их получились, соответственно, равными 6 и 6,3 герц. Сравнивая их с первоначально полученными величинами частот, замечаем, что они мало отличаются. Следовательно, можно прийти к выводу, что в результате заселения частота здания не меняется.

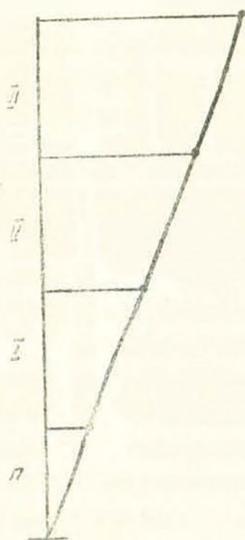


Рис. 2.

Четырехэтажный жилой дом с подвальным этажом в Шаумянском

массиве находится на расстоянии примерно 1 км от участка ЭКУ, где были испытаны описанные выше два дома.

Кладка стен осуществлена из арктического туфа на растворе марки 25. Размеры здания в плане $88,9 \times 12,2$ м, высота 14,6 м. Двумя поперечными швами здание разделено на три отсека, причем два крайних отсека намного длиннее среднего. План и разрез этого здания приведены на рис. 3 и 4.

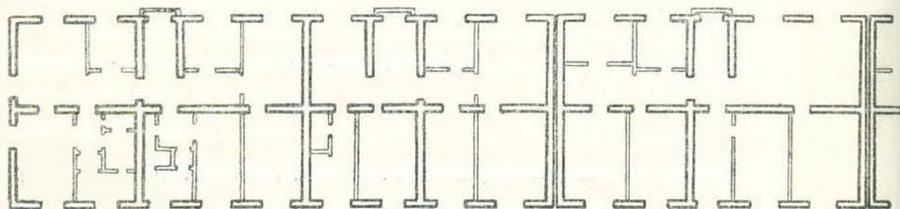


Рис. 3.

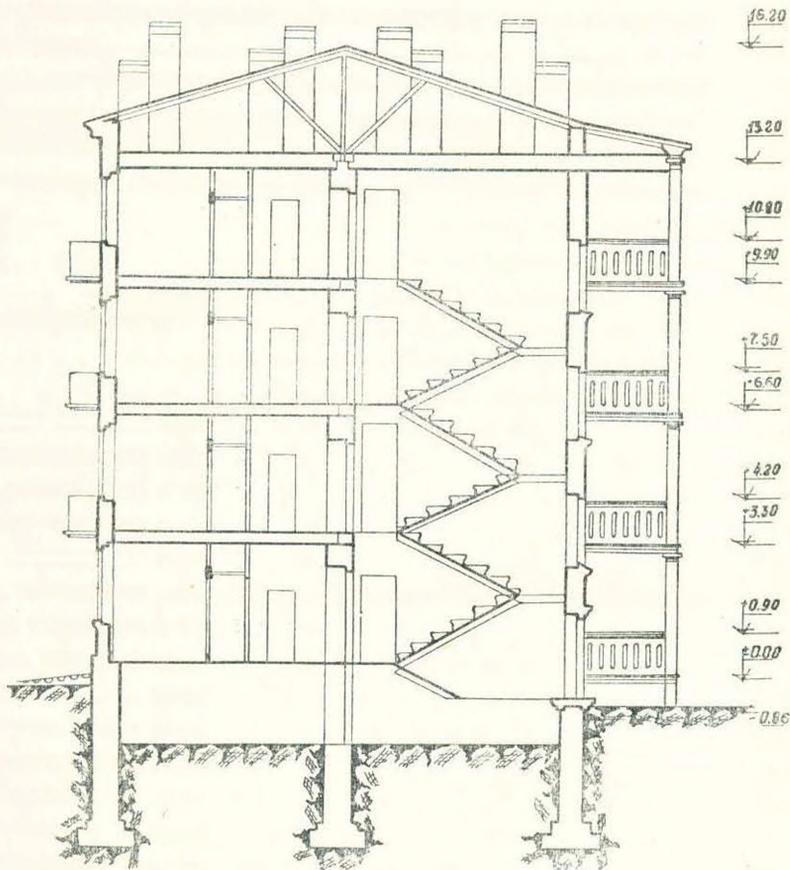


Рис. 4.

Наблюдения осуществлялись как отдельно (в одном из крайних отсеков и в среднем отсеке), так и одновременно в двух отсеках.

Основные частоты колебаний как среднего, так и крайнего отсеков

получились примерно одинаковыми и равными 4,8 герц, с наложением частоты в 15 герц, которую можно считать вторым тоном колебаний здания.

При записи колебаний этого здания осуществлялись также удары в различных местах здания, в результате чего вызывались свободные колебания здания по основному тону, наложенные на более высокочастотные колебания.

Трехэтажный крупнопанельный жилой дом № 1 в Чарбахе расположен на углу улицы Шираки и переулка Шираки. Размеры здания в плане $59,3 \times 11,0$ м, высота здания 10,5 м. Высота панелей: наружной 278 см, внутренней — 255 см, при высоте этажа в свету 250 см. Панели замоноличены, углы сварены и заболочены. Перекрытия из пустотелых настилов, чердачное перекрытие из ферм-настилов.

По записи колебаний этого здания найдено, что частота колебаний почвы равняется 17 герцам с наложением колебаний в 35 герц. Основная частота колебаний здания получилась равной 8,7 герц, с наложением частоты в 17 герц. Таким образом, как нетрудно заметить, это здание оказалось жестче по сравнению с 3-х этажным каменным зданием. Здесь, во-первых, сказывается несравненно меньшая общая высота здания, а также этажей, и, во-вторых, видимо более жесткая связь в углах и примыканиях стен.

Шестиэтажный жилой дом в Шаумянском массиве имеет два отсека. Испытанию был подвергнут один из отсеков (более протяженный) с размерами в плане $55,4 \times 14,7$ м, высотой 17,4 м. Кладка стен из арктического туфа системы «мюдис», марка раствора «25».

План и разрез здания приведены на рис. 5 и 6.

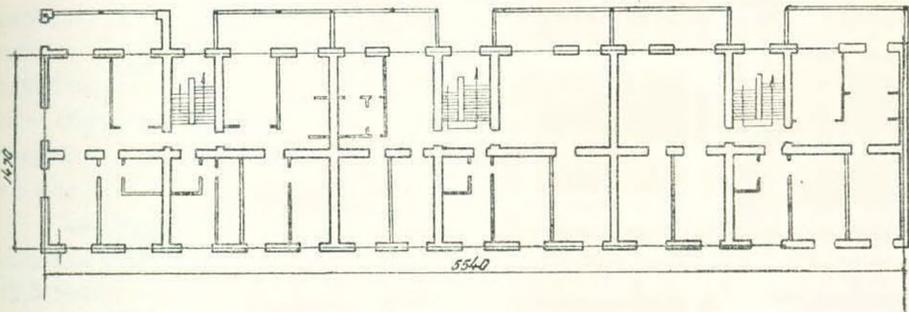


Рис. 5.

Фундаменты здания заглублены на 1,40 м от поверхности грунта. Здание имеет нижний полуподвальный этаж высотой 2,7 м плюс 5 этажей по 3,3 м. Межэтажные перекрытия из железобетонных пустотелых балок-настилов, чердачное перекрытие из ферм-настилов.

Поскольку это здание из испытанных нами фактически единственное 6-этажное здание с несущими каменными стенами, полученные данные рассматриваем более подробно. В этом здании, как и в остальных других замеры колебаний грунта и здания на разных высотах (на уровне перекрытий) осуществлялось в двух направлениях.

Записанные на поверхности грунта колебания не дали заметных смещений. Что касается записи колебаний в подвале здания, то в случае ко-

лебаний в направлении наименьшей жесткости здания опять-таки не получилось заметных смещений, а в направлении наибольшей жесткости получились существенные смещения с частотой колебаний 8 и 15 герц. Это говорит о том, что из-за большей гибкости здания в направлении наимень-

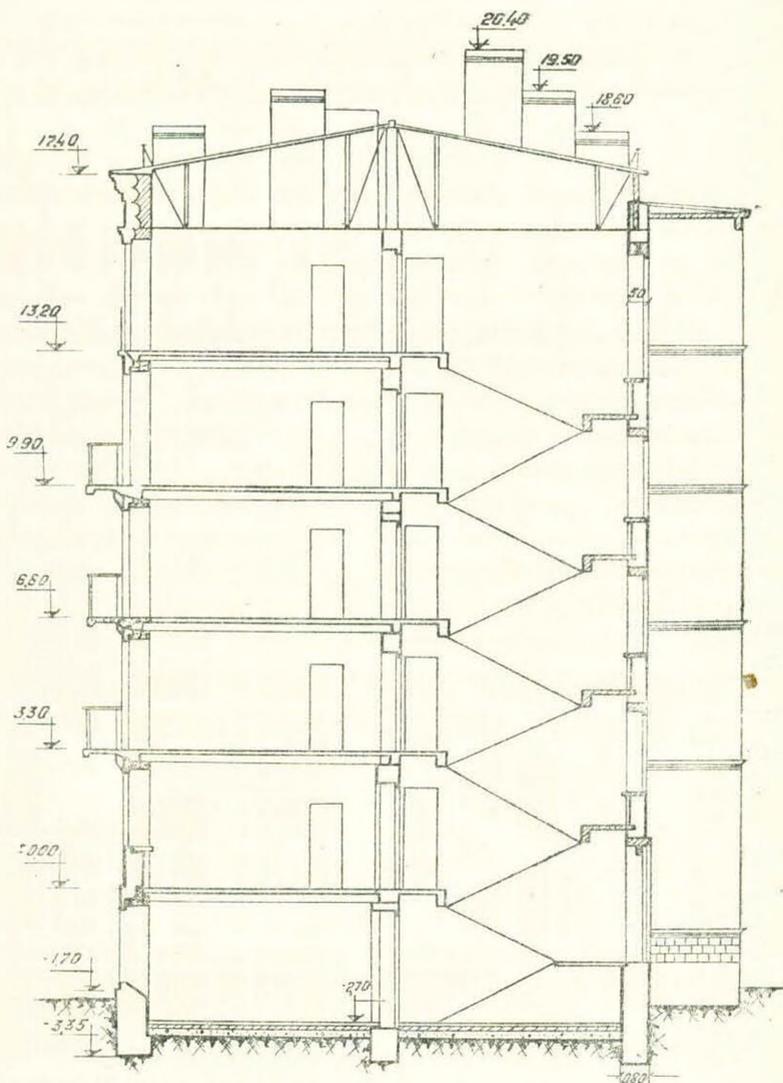


Рис. 6.

шего его размера происходит деформация здания, без какого либо перемещения фундамента по основанию (в нашем случае пола подвала); в направлении же наибольшей жесткости здания, по всей вероятности, помимо деформации здания происходит также его некоторое перемещение по основанию.

При рассмотрении относительно невысоких зданий (до 4-х этажей) колебания грунта у здания получались с реальной амплитудой, в случае рассматриваемого высокого 6-этажного здания из 10 произведенных запи-

сей на грунте ни на одной не получилось заметных смещений. Это говорит возможно о том, что в случае высоких зданий видимо обратное влияние здания на грунт несравненно меньше, чем в случае невысоких зданий, при одних и тех же (скальных) грунтах.

По величинам смещений построены упругие линии здания при колебаниях его в двух взаимно-перпендикулярных направлениях (вдоль направления стен), которые приведены на рис. 7, откуда видно, что в случае колебаний в направлении наименьшей жесткости упругая линия получается в виде прямой, а в перпендикулярном направлении — изогнутой, по форме близкой к сдвигу.

Если рассмотреть колебания здания в направлении наименьшей жесткости, то замечаем, что на основном колебание 4,3 герц наложено колебание с частотой 16 герц, которую следует считать вторым тоном колебания этого здания. Здесь не может быть никакого сомнения, потому, что, если рассмотреть осциллограмму колебаний, приведенную на рис. 8 (помечено), где наложены периоды колебаний высокой частоты, то можно заметить, что максимальные отклонения на уровне второго и четвертого этажей (3 и 5 кривые сверху) имеют одинаковую фазу, а на уровне чердака — обратную (6 кривая сверху). Такое очертание упругой линии совпадает с упругой линией по второй форме колебаний.

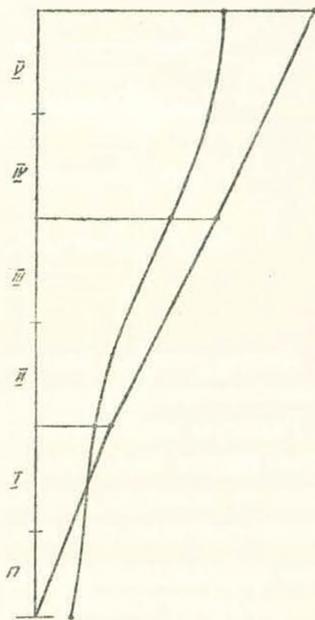


Рис. 7.

Семиэтажная часть с башней здания, расположенного у Шаумянского массива рядом с Большим разданским мостом имеет размеры в плане $12,3 \times 12,3$ м, высоту 22 м. Восьмигранная в плане башня размером 5,2 м, высотой 8 м. Здание железобетонное каркасное с каменными стенами. План испытанной части здания и разрез его верхней части приведены на рис. 9 и 10.

Интересным в этом здании является то, что оно высокое и имеет башню. Как известно в Нормках случаи, когда над зданием возвышаются башни с малыми размерами и массой особо оговариваются и предлагается при этом существенно увеличивать сейсмическую нагрузку [2]. Нашей целью было определить периоды колебания этого здания и проверить здание и башня колеблются с одинаковым периодом или нет. С этой целью приборы были установлены на отдельных этажах (IV и VII), а также на стене перекрытия и башне. Наблюдения показали, что колебания, как здания, так и башни происходят с одинаковой основной частотой, равной 2,8 герца, которые находятся в одной фазе и имеют одинаковый характер. Отсю-

да можно заключить, что здание и башня (по основной частоте) колеблются как одна система.

Помимо основной частоты колебаний записаны также частоты в 9, 15, 20 герц, которые можно считать высокими тонами колебания здания.

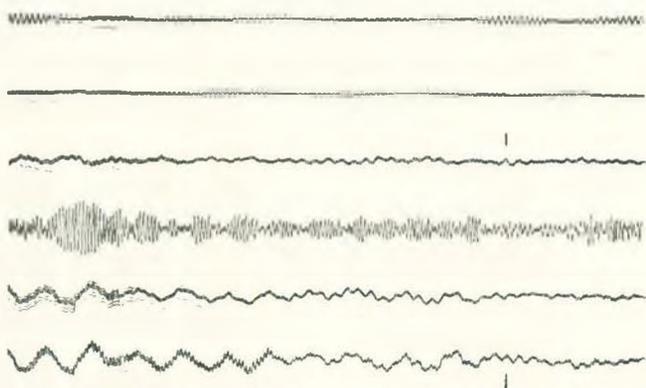


Рис. 8.

Десятиэтажная башенная часть жилого дома по улице Московской — железобетонное каркасное здание с каменными стенами из аванского туфа. Размеры этой части в плане $15,0 \times 14,0$ м, общая высота над поверхностью грунта 34,4 м и ниже этой отметки 3,5 м. Здание в основании опирается на мощную железобетонную плиту. Грунтами основания служат валунно-галечные отложения с суглинистым заполнением.

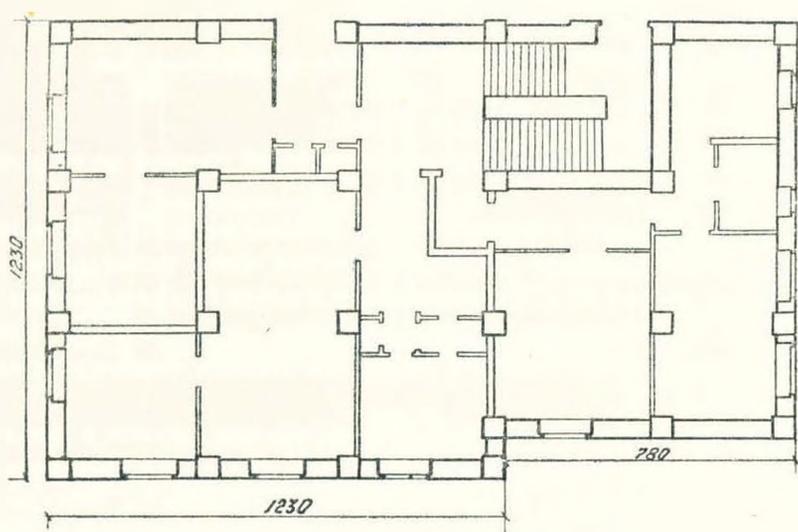


Рис. 9.

Колебания здания в двух направлениях получились несколько различившимися, видимо, вследствие того, что башенная часть с двух взаимно перпендикулярных сторон по-разному примыкает к зданиям. Частоты колебания в одном направлении получились равными 1,2 и 2,4 герц, и в другом направлении 1,03 и 2,06.

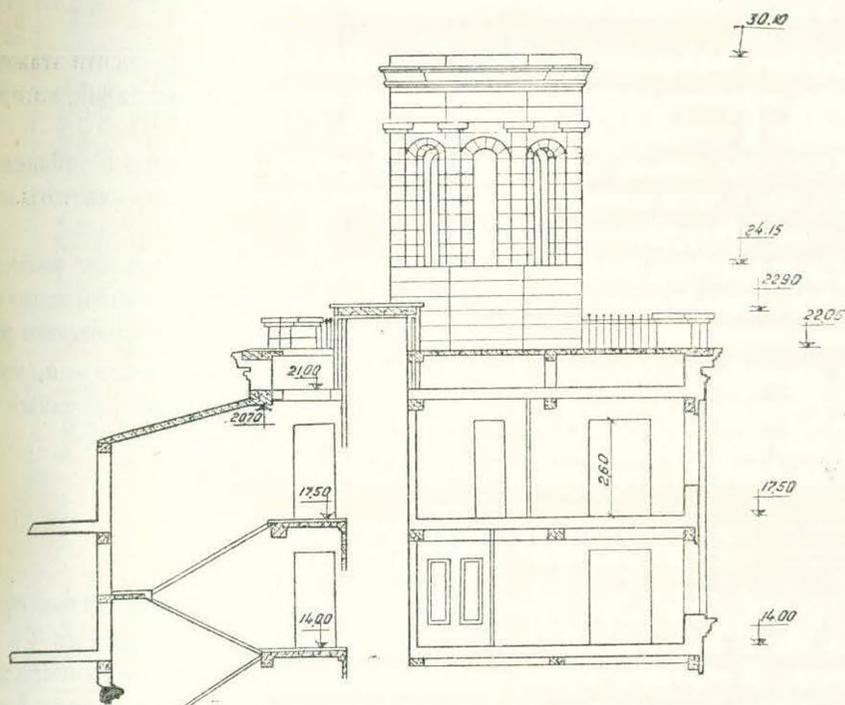


Рис. 10.

Крупнопанельный жилой дом № 3 в Чарбахе — четырехэтажное здание размерами в плане $60,0 \times 11,5$ м, высотой 12,2 м. Кладка фундаментов из базальта, местами туф. Перекрытия из пустотелых балок-настилов, чердачное перекрытие из ферм-настилов.

По максимальным отклонениям, записанным в отдельных точках (на уровне перекрытий) построена упругая линия здания, которая получилась прямой линией, проходящей через подошву фундамента (рис. 11).

Частота колебаний этого здания получилась равной 6,4 герца.

Четырехэтажный жилой дом из камней правильной формы в Шаумянском массиве имеет размеры в плане $55,6 \times 12,6$ м, высоту 13,0 м, однотипен с домом, который находится рядом и также был испытан. Несущие стены здания из камней правильной формы (арктического туфа) размерами $39 \times 29 \times 19$ см; перекрытия из сборных железобетонных балок-настилов, чердачное перекрытие из ферм-настилов.

Частота колебаний этого здания оказалась равной 4,7 герца

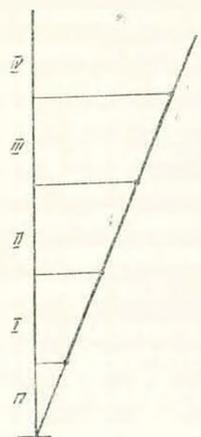


Рис. 11.

III. Обобщение полученных данных и выводы

Для всех исследованных зданий (высотой от одного до десяти этажей) найдены величины частоты основного тона свободных колебаний, которая находится в пределах от 1,1 до 14,5 герца.

Основные данные исследованных 38 зданий приведены в таблице 1, где в графе 7 даны измеренные величины частот, в скобках — частоты второго тона, обнаруженные на записях.

По величинам полученных частот колебаний, имея также размеры зданий в плане и их высоты, мы сочли возможным представить величину периода колебаний (основного тона) в зависимости от наименьшего размера здания — b , высоты — H , и некоторого коэффициента — k , который, в основном, зависит от грунта в основании здания, а также от вида несущих конструкций.

Эта формула выглядит следующим образом*:

$$T_1 = k \frac{H}{\sqrt{b}}$$

На наш взгляд, эта зависимость с большей достоверностью будет иметь место, если размеры здания в плане сильно отличаются (в 2 и более раза). В обратном случае, видимо необходимо учесть оба размера здания в плане. Вычисленные по формуле частоты приведены в графе 8 таблицы 1, при принятии соответствующего значения коэффициента k (графа 9). Эмпирическое выражение для определения периодов колебаний можно представить и в виде $T_1 = k_1 H^{**}$, но в этом случае получается меньшая точность по сравнению с $T_1 = k \frac{H}{\sqrt{b}}$.

Для зданий с несущими каменными стенами системы «мидис» мы имели возможность определить величины коэффициента k для различных грунтов основания. Они получились следующих значений: в случае базальтов $k = 0,050$; цементированных галечников — 0,055; туфов — 0,060; коренных глин — 0,065; суглинисто-супесчаных грунтов — 0,075. Как нетрудно заметить полученные значения коэффициентов вполне закономерны, а именно: чем жестче грунт, тем большая получается частота колебаний здания. По другим зданиям такой возможности не имелось ввиду их малого количества.

Для крупнопанельных зданий, основанием которых являлись цементированные галечники, величина коэффициента k получилась равной 0,040. Если сравнить эту величину k с таковой для случая зданий с несущими каменными стенами системы „мидис“, основанием которых являются цементированные галечники, замечаем, что они существенно разнятся ($k = 0,055$). Частота колебаний крупнопанельных зданий

* Аналогичное выражение приводится у Ф. П. Улриха и Д. С. Кардера [3].

** Такое выражение рекомендует В. С. Павлык [4].

Таблица 1

№№ здания	Район нахождения здания	Грунты основания	Несущие конструкции	Размеры в плане в м	Высота в м (этаж)	Измерен. частота в герц.	Вычисл. частота в герц.	Принятый коэффиц.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	ЭКУ № 1	Базальты	„мидис“	54,9×12,5	12,0 (3)	5,4	—	—
2	ЭКУ № 2	„	„	54,9×12,5	12,0 (3)	5,8	5,94	0,05
3	ЭКУ № 3	„	„	54,9×12,5	12,0 (3)	6,7	5,94	0,05
4	ЭКУ, гост.	„	„	60,0×10,4	12,0 (3)	7,0	5,40	0,05
5	ЭКУ, маст.	„	„	57,6×16,4	9,1 (1)	14,5	—	—
6	Шаум. массив	„	„	88,9×12,2	14,6 (4,5)	4,8 (15)	4,85	0,05
7	Чарбах, № 1	Цементиров. галечники	Крупн. панели	59,3×11,0	10,5 (3)	8,7	7,87	0,04
8	Чарбах, № 2	„	„	59,3×11,0	10,5 (3)	8,7	7,87	0,04
9	Чарбах, № 1	„	„мидис“	17,6×11,8	10,8 (3)	5,5	5,70	0,055
10	Чарбах, № 2	„	„	17,6×11,8	10,8 (3)	5,2	5,70	0,055
11	Чарбах	„	„	57,0×12,0	10,8 (3)	6,5	5,75	0,055
12	Завод Кирова	Суглинки-супеси, влажные	„	34,0×12,0	4,0 (1)	2,8 (7,2)	—	—
13	Здание АИСМа	Глыбы валунов с супес. запов.	„	23,4×14,9	15,0 (3)	4,5	4,18	0,055
14	Вардашен	Коренные глины	„	10,0×10,0	7,4 (2)	8,7	6,7	0,065
15	Шаум. массив	Базальты	„	55,6×12,6	13,0 (4)	5,33	5,47	0,05
16	ЭКУ, детсад	„	„	18,2×12,3	6,5 (2)	12,2	10,80	0,05
17	ЭКУ, хоз. дом.	„	„	15,9×6,5	3,7 (1)	13,8	13,80	0,05
18	Шаум. массив	„	„	55,4×14,7	17,4 (6)	4,3 (16)	4,37	0,05
19	УБ. Разд. моста	Базальты	Ж/бетон	12,3×12,3	30,0 (7)	2,8	—	—
20	Ул. Таманяна	Валунно-галечные отл.	„	15,0×14,0	34,4 (10)	1,1 (2,2)	—	—
21	Шаум. массив, детсад	Базальты	„мидис“	25,9×12,6	8,2 (2)	8,0	8,64	0,05
22	Чарбах, № 3	Цементир. галечники	Крупн. пан.	60,0×11,5	12,2 (4)	6,4	6,95	0,04
23	Чарбах, № 4	„	„	44,4×11,5	12,2 (4)	6,4	6,95	0,04
24	Чарбах, № 5	„	„	44,4×11,5	12,2 (4)	6,4	6,95	0,04

1	2	3	4	5	6	7	8	9
25	Чарбах	"	"мидис"	55,0×12,6	15,9 (4,5)	5,23	4,05	0,055
26	Чарбах	"	"	12,0×11,0	6,0 (2)	9,00	10,00	0,055
27	Аван	Туфы	"	12,0× 9,3	8,5 (2)	8,00	6,00	0,06
28	Аван	"	"	11,0× 9,0	3,9 (1)	11,0	12,75	0,06
29	Аван. солерудн.	"	"	18,0×16,0	6,2 (2)	7,0	10,40	0,06
30	Аван. солерудн.	"	"	60,0×14,0	11,5 (3)	5,3	5,42	0,06
31	За ж/д вокзалом	Суглинки	"	42,0×11,0	12,6 (4)	4,0	3,50	0,075
32	За ж/д вокзалом	"	"	36,0×11,0	12,0 (3,5)	4,3	3,67	0,075
33	За ж/д вокзалом	"	"	38,0×11,0	7,0 (2)	4,6	6,28	0,075
34	Шаум. массив	Базальты	Камни прав. формы	55,6+12,6	13,0 (4)	4,7	4,95	0,055
35	Арабкир	"	Сост. круп. бл.	42,0×13,0	11,3 (3)	5,5	5,30	0,05
36	Арабкир, № 1	"	Крупн. бл.	54,0×12,0	19,2 (5)	3,8	3,60	0,05
37	Арабкир, № 2	"	"	54,0×12,0	17,5 (4,5)	4,4	3,95	0,05
38	Арабкир	"	"мидис"	57,0×14,0	14,0 (4)	5,0	5,35	0,05

получилась намного выше частоты каменных зданий системы „мидис“. В случае крупнопанельных зданий, по-видимому, сказывается несравненио меньшая высота здания и этажей, а также более жесткая связь в углах и примыканиях стен.

Сравнивая здание из камней правильной формы с расположенным в непосредственной близости от него зданием со стенами кладки «мидис», которое имеет такие же размеры в плане и одинаковую с ним высоту, замечаем, что частота колебаний его несколько меньше (4,7 герца) по сравнению со зданием из кладки «мидис» (5,3 герца). В этом случае можно принять $k = 0,055$. Здания из крупных каменных блоков имеют такую же жесткость, что и здания со стенами из кладки «мидис». Здание из составных крупных блоков имеет меньшую жесткость ($k = 0,06$).

На основании полученных данных, рекомендуются следующие средние значения коэффициента k , приведенные в таблице 2.

Таблица 2

Несущие стены Грунты основания	„Мидис“	Камни прав. формы	Естеств. каменные блоки	Состав- ные ка- мен. бл.	Крупные панели
Базальты	0,050	0,055	0,050	0,060	—
Спементированные галечники . .	0,055	—	—	—	0,040
Туфы	0,060	—	—	—	—
Коренные глины	0,065	—	—	—	—
Суглинки-супеси	0,075	—	—	—	—

По полученным записям колебаний на разных по высоте уровнях здания, имелась возможность построить упругие линии колебаний большинства исследованных зданий. Здесь приведены построенные нами упругие линии для трех зданий, рассматривая которые можно заключить, что упругие линии зданий при микросейсмических колебаниях имеют различный характер, выражающийся либо прямой линией (случай поворота здания вокруг оси проходящей через подошву фундамента), либо изогнутой кривой от сдвиговых, а иногда и изгибных деформаций.

В результате произведенных исследований, на записях колебаний некоторых зданий удалось обнаружить кроме основного тона колебаний также второй тон. В начале мы сомневались в достоверности того, что это второй тон колебаний здания, так как эту частоту колебаний можно было бы приписать и «собственной» частоте колебаний грунта, которая часто близка к ней. Хотя и в этом случае мы считали, что это есть также второй тон колебаний здания, вызываемый вследствие резонанса с частотой колебаний грунта (на записи часто получаются биения). При том такая частота в здании наблюдалась и после прекращения колебаний грунта в случае взрыва. Однако, после производства всех экспериментов, теперь уже с большей достоверностью, мы считаем, что полученные на записях высокие частоты являются вторым тоном колебаний здания, потому что

максимальные отклонения по этой частоте, записанные на различных высотах здания имели различные фазы.

Второй тон колебаний, обнаруженный в каменных зданиях высотой 4—6 этажей, приближенно можно определить по формуле:

$$T_2 = \frac{1}{3} T_1$$

Исследование семиэтажного здания с железобетонным каркасом высотой 22,0 м и с размерами в плане 12,3 × 12,3 м, имеющего наверху восьмигранное башенное строение высотой 8,0 м и размером в плане 5,2 м, показало, что обе эти части имеют одинаковую частоту колебаний, происходящих в одной фазе, т. е. вся система колеблется как одно целое и явления «бича» не наблюдается.

Во всех изученных нами зданиях колебания замерялись в двух взаимно-перпендикулярных направлениях (вдоль стен). И в большинстве случаев (в невысоких зданиях) частота колебаний зданий в обоих направлениях получалась одинаковой.

Запись колебаний на грунте и в здании на том же уровне получалась разной по амплитуде и частоте колебаний, что следует объяснить как результат взаимодействия между фундаментом здания и его основанием.

Частоты и амплитуды колебаний грунта в непосредственной близости от здания и на некотором расстоянии от него (20—25 м) сильно отличались. Это являлось результатом того, что на колебания грунта в непосредственной близости от здания, накладывались дополнительные колебания от здания, т. е. сказывалось обратное действие здания на грунт, в результате чего создавалось вторичное поле колебаний.

Армянский институт
стройматериалов и сооружений

Поступило 27.III 1961

Բ. Կ. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ

ԵՐԵՎԱՆԻ ՇԵՆՔԵՐԻ ՏԱՏԱՆՈՒՄՆԵՐԻ ԷՔՍՊԵՐԻՄԵՆՏԱԼ
ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅԱՆ ԱՐԳՅՈՒՆՔՆԵՐԸ

Ա. մ. փ. ո. փ. ո. մ.

Հոգաբարձի՝ բերված է Երևան քաղաքում կառուցված և շահագործման հանձնված 38 շենքերի տատանման կրողերի մենտալ ստումնասիրությունը: Այնքան ևս պատակ էր հետադիմում գտնել շենքի հիմքի և նրա հիմնատակի փոխազդեցությունը, որոշել շենքերի առաձգական զծի ձևը, ինչպես և շենքերի զինամիկան բնութագրող այլ հատկությունները, որոնք անհրաժեշտ են շենքերի վրա ազդող սեյսմիկ ուժի որոշման համար: Ուսումնասիրված շենքերն ըստ իրենց կոնստրուկտիվ լուծման եղել են տարբեր, հարկերի տարբեր բանակով և հիմնված են տարբեր դրոնանների վրա:

Համեմատաբար լրիվ տվյալներ են ստացված «միդիս» շարվածքով իրականացված շենքերի համար և դա տեղի է ունեցել այն իսկ պատճառով, որ երևանում շենքերի գերակշռող մասը դեռ պատկանում են այդ տիպին: Ուսումնասիրության են ենթարկվել նաև քաղաքում գոյություն ունեցող կոնստրուկտիվ ալլ լուծման շենքերի, այն է՝ պանելային, կանոնավոր ձևի քարերից, խոշոր հավաքովի բլոկներից և բնական բլոկներից կառուցված շենքերի դիսմիկ հատկությունները:

Փոխադրական սեյսմիկ լարորսատորիայի օգնությամբ պահանջվել են միկրոսեյսմներից առաջացած շենքերի տատանումները, ինչպես նաև նրանց հետ միասին զրանցվել են դետրի տատանումները: Թույր 38 փորձարկված շենքերի համար ստացվել են զրանց սեփական տատանումների հաճախականությունները: Հոդվածում առաջարկվում է քարե շենքերի սեփական տատանումները որոշել հետևյալ բանաձևով՝

$$T_1 = k \frac{H}{\sqrt{b}}$$

որտեղ H —շենքի բարձրությունն է, b —նրա փոքր շափր հատակագծում, իսկ k —ն մի գործակից է, որը կախված է շենքի կոնստրուկցիայից և հիմքի գրունտներից: Ստացված են k գործակցի արժեքները, օրինակ «միդիս» շարվածքով իրականացված շենքերի համար, կախված գրունտներից k —ն տատանվում է 0,050—0,075: Ստացված են նաև մի շարք ուրիշ հարաբերություններ և օրինաչափություններ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Карапетян Б. К. Изучение поведения сооружений при сейсмических воздействиях. Доклады АН АрмССР, т. XXXI, № 5, Ереван, 1960.
2. Нормы и правила строительства в сейсмических районах (СН-8-57), Госстрой СССР, М., 1957.
3. Ulrich F. P. and Carder D. S. Vibration of Structures, Proceedings of the Symposium of Earthquake and Blast Effects of Structures, Los Angeles, California, June, 1952.
4. Павлык В. С. Определение свободных колебаний зданий с несущими стенами. Исследования по сейсмостойкости зданий и сооружений. Госстройиздат, М., 1950.

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

М. Г. МАНВЕЛЯН, К. А. КОСТАНЫАН и Е. А. ЕРЗНКЯН

ПЕРЕХОД ОГНЕУПОРА СТЕКЛОВАРЕННОЙ ПЕЧИ В
СТЕКЛОМАССУ ПРИ ЭЛЕКТРОВАРКЕ СТЕКЛА

Исследование шамотного огнеупора при электротоварке электроколбочного стекла выявило образование ряда слоев на контакте стекломассы с шамотным огнеупором [1]. Эти контактные слои, образовавшиеся вследствие взаимодействия расплавленного стекла с шамотным огнеупором при длительном воздействии высоких температур, играют определенную роль в защите шамотного огнеупора от разъедающего действия расплавленной стекломассы. В указанном исследовании такая защитная роль приписывалась шамотному стеклу, которое задерживало взаимодействие многощелочного электроколбочного стекла с шамотным огнеупором.

Исследование контактных слоев дает возможность предупредить образование огнеупорных камней и предопределяет мероприятия, ведущие к увеличению сроков службы огнеупорного стеклоприпаса [2]. Закономерность образования контактных слоев и разъедание огнеупора в стекловаренных электрических печах зависит от состава варившегося стекла и вида огнеупора.

В настоящем сообщении приводятся результаты исследования разъедания каолинового огнеупора в электрических стекловаренных печах при варке двух различных по составу стекол: электроколбочного (стекло № 2) и боросиликатного (стекло 3С—5К). Это исследование вместе с предыдущим [1] дает возможность определить зависимость разъедания от вида огнеупора (шамот, каолин) при варке многощелочного стекла и одновременно сравнительную оценку службы каолинового огнеупора в многощелочном и боросиликатном стеклах.

Исследованию подвергался каолиновый огнеупор из двух печей: стекловаренной электропечи № 3 Ереванского электролампового завода, где вырабатывалось электроколбочное стекло на автомате ВК-24 [3], и опытной стекловаренной электропечи № 5 Научно-исследовательского института химии, где варилось боросиликатное стекло 3С—5К с ручной выработкой [4].

Стекловаренная электрическая печь № 3 Ереванского электролампового завода состояла из двух частей: варочно-осветлительной и выработочной, разделенных протоком. Варочная и выработочная части подвергались дополнительному пламенному обогреву. Температура на поверхности стекла осветлительной части — 1450°C. Подсводовое пространство освет-

лительной части отделялось экраном от варочной. В печи применялись пристенные железные, охлаждаемые воздухом электроды, расположенные в варочно-осветлительной части печи. Стены варочной и осветлительной частей печи были выложены из каолиновых брусев, под и выработочная часть — из шамота, а проток — из высокоглиноземистого огнеупора. Производительность печи была 5,7 тонны в сутки, длительность кампании — 11,5 месяца. Боковые стены варочно-осветлительной части печи не были изолированы и работали в условиях естественного охлаждения.

После остановки печи осмотр огнеупора в варочно-осветлительной части показал значительное разъедание каолиновых брусев расплавленной стекломассой [3]. В изломе брус имел следующие слои:

1. Основной каолиновый брус с внешне неизменной структурой, имеющий значительную толщину.

2. Фарфоровидный белый плотный слой со слегка кремовым оттенком. Толщина этого слоя доходит до 10 см. По своей структуре этот слой неоднородный: ближе к паружным частям — зернистый, а в сторону стекломассы — более плотный и однородный. Химическому анализу подвергался фарфоровидный слой в непосредственной близости со следующим эмалеподобным слоем.

3. Эмалеподобный слой толщиной 0,3—1,0 мм. Иногда переход от фарфоровидного слоя в эмалеподобный происходит плавно, без резких границ.

4. Слой коричневого стекла (каолиновое стекло) толщиной до 1 мм. Этот слой легко отщепляется от контактирующего стекла, но плотно прижимается к эмалеподобному слою. Попытка отщепить каолиновое стекло от эмалеподобного слоя не дала положительных результатов. Для анализа каолинового стекла эмалеподобный слой был удален шлифовкой.

5. Контактующее стекло. Толщина этого слоя, оставшегося на огнеупоре после опорожнения печи, в зависимости от формы и месторасположения огнеупора различна и доходит до 0,5 см. Количество контактирующих слоев, их характер и расположение напоминают слои, образовавшиеся на шамотном огнеупоре при варке стекла того же состава [1].

В таблице 1 приведены результаты химического анализа вышеотмеченных слоев.

Таблица 1

Слой	Оксиды						R ₂ O (по разности)
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO		
1. Основной огнеупор	55,80	41,09	1,27	0,95	сл.	0,89	
2. Фарфоровидный слой	57,52	36,36	1,16	0,72	0,47	3,77	
3. Эмалеподобный слой	56,23	34,80	0,85	0,93	0,18	7,00	
4. Каолиновое стекло	53,85	30,40	1,27	0,96	0,12	15,40	
5. Контактующее стекло	69,34	4,84	0,31	6,25	1,39	17,87	
6. Вырабатываемое стекло	70,9	4,93	0,20	6,60	2,50	17,97	

Из таблицы 1 видно, что химические составы контактных слоев каолинового огнеупора сходны с таковыми, образующимися на шамотном ог-

неупоре [1]. При варке электроколбочного стекла основным защитным слоем является шамотное стекло, отличающееся высоким содержанием окиси алюминия (25%) и щелочных окислов (15%)*. Из данных таблицы следует, что при каолиновом огнеупоре защитная роль принадлежит слою каолинового стекла, образовавшегося между эмалеподобным слоем и контактирующим стеклом. Как и шамотное стекло, каолиновый стеклослой отличается высоким содержанием глинозема (30%) и щелочных окислов. Каолиновый стеклослой возникает в результате растворения каолина в основной стекломассе, чем и объясняется высокое содержание этих двух окислов в нем.

Благодаря высокой вязкости этого стеклослоя скорость дальнейшего взаимодействия расплавленного стекла с каолиновым огнеупором чрезвычайно замедляется. Эмалеподобный слой возникает в результате этого взаимодействия: наличие стеклофазы создает благоприятные условия для выделения муллита из фарфоровидного слоя. Скорость растворения муллита в каолиновом стекле в основном и лимитирует скорость разъедания огнеупора расплавленной стекломассой. Скорость взаимодействия других слоев огнеупора определяется, по-видимому, скоростью диффузии ионов натрия вглубь огнеупора.

Как показывают данные таблицы 1, каолиновый стеклослой является некоторым барьером, препятствующим переходу иона натрия вглубь, и, с другой стороны, задерживает растворение каолина в основной стекломассе. Сравнительно высокое содержание окиси натрия в фарфоровидном слое обусловлено, по-видимому, диффузией ионов натрия из каолинового стеклослоя вглубь огнеупора.

На рис. 1 приведена микрофотография контактирующих с огнеупором слоев: фарфоровидного (темный слой), эмалеподобного (слой с кристаллическими образованиями) и соседнего с ним слоя каолинового стекла. В фарфоровидном слое встречается совсем прозрачное стекло в виде неправильных мелких участков. Кристаллические образования в эмалеподобном слое являются муллитом. Он представлен широкопризматическими кристаллами, размером до

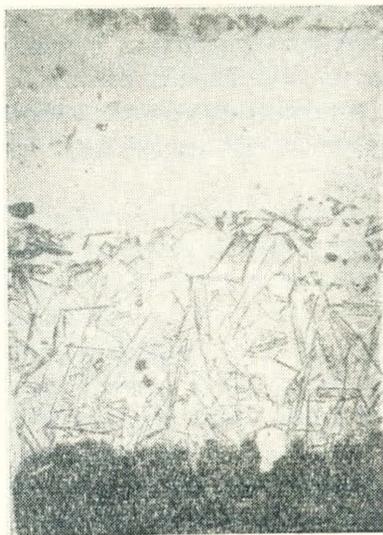


Рис. 1. Микрофото контактных слоев на границе каолин-стекломасса (щелочное стекло), свет проходящий, ув. 55×—

* При определении защитной роли отдельных контактных слоев в рассматриваемом случае нет надобности прибегнуть к выражению состава слоев в атомных количествах. Как было показано Четвериковым [1], основные выводы при этом совпадают с заключениями, сделанными на основании данных химического анализа.

0,6 мм в длину, а также в виде поперечных, очень характерных для муллита ромбических сечений и тонкопризматических кристаллов. На микрофотографии видны также пузыри, образовавшиеся в результате разъедания фарфоровидного слоя. Наличие муллита было отмечено также и в эмалеподобном слое [5], образованном на шамоте.

Сравнение данных по исследованию образования контактных слоев на шамотном [1, 5] и каолиновом огнеупоре показывает идентичность механизмов разъедания щелочным стеклом каолинового и шамотного огнеупоров. Вместе с тем существует и некоторая количественная разница в составах шамотного и каолинового стекол: каолиновое стекло более вязкое вследствие большего содержания глинозема в нем, чем и объясняется более высокая стеклоустойчивость каолиновых огнеупоров по сравнению с шамотным.

Приведенные выше соображения относятся к взаимодействию огнеупора и стекла со сравнительно высоким содержанием щелочных окислов, так как в образовании вышеуказанных слоев, и в особенности защитного стеклового слоя, решающая роль, по-видимому, принадлежит концентрации ионов натрия. Подтверждением этого могут служить данные, полученные при исследовании каолиновых брусьев в крупнолабораторной печи № 5 ИИИХимии [4].

Состав варившегося в этой печи стекла приведен в таблице 2. Как видно из приведенных данных, стекло содержит до 20% борного ангидрида и, по-видимому, это обстоятельство, в свою очередь, оказывает большое влияние на механизм разъедания каолинового бруса расплавленным стеклом.

Кампания печи № 5 длилась 7,5 месяца, каолиновые брусья были изолированы легковесными шамотными кирпичами. За указанный промежуток времени в целом имело место сравнительно меньше разъедания каолинового огнеупора, несмотря на теплоизоляцию легковесным шамотом.

Макроскопически каолиновые брусья при изломе показывают три слоя: 1. наружный белый неизменный, 2. средний желтоватый и 3. прилегающий к стекломассе плотный белый. Отличие последнего слоя от первых двух заключается в отсутствии в нем отдельных темных частиц. Не удалось обнаружить какие-либо заметные на глаз следы образования контактных слоев на огнеупоре или прилипшего к огнеупору стекла.

В таблице 2 приведены химические составы указанных слоев каолинового огнеупора, контактного стекла и вырабатываемого стекла. Анализы огнеупора и контактного стекла были произведены для брусьев, отобранных из варочной, осветлительной и выработочной частей печи № 5. Во всех случаях анализы как огнеупора, так и контактного стекла почти повторяют данные, приведенные в таблице 2. Микроснимок огнеупора и прилипшего стекла (рис. 2) также показывает отсутствие контактных слоев. Как и в предыдущем случае, в стекле заметны пузыри, образовавшиеся вследствие растворения огнеупора [6]. Отсутствие контактных слоев в рассматриваемом случае говорит о том, что лимитирующим процессом в скорости разъедания каолинового огнеупора в боросиликатном стекле сле-

дует полагать скорость процесса растворения самого огнеупора. Скорость же растворения образовавшегося контактного стекла в основной стекломассе в этом случае, по-видимому, очень высокая, и таким образом это стекло не может служить в качестве защитного стеклослоя.

Сравнением составов фарфоровидного слоя (таблица 1) и слоя 3 (таблица 2), то есть двух крайних слоев огнеупора, соприкасающихся со стеклофазой, можно отметить следующие особенности: сравнительно высокое содержание щелочных окислов и низкое содержание глинозема в фарфоровидном слое, отсутствие следов бора в слое 3. Если в фарфоровидном слое имеет место некоторая диффузия щелочных ионов и избирательное выделение муллита, в результате которого и происходит отмеченное повышение щелочей и снижение окиси алюминия в фарфоровидном слое, то протекание такого процесса в слое 3 при варке боросиликатного стекла совершенно исключено. Это обстоятельство обусловлено составом стекла и, в первую очередь присутствием борного ангидрида в стекле 3С—5К.

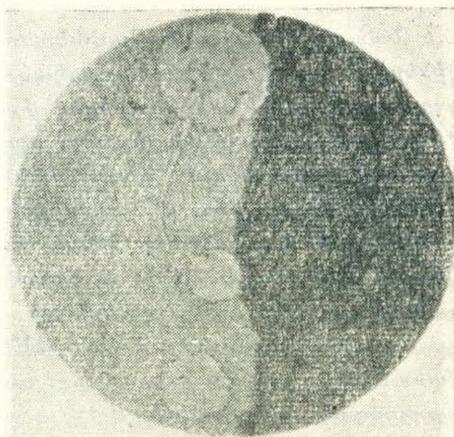


Рис. 2. Микрофото контакта каолин-стекломасса (боросиликатное стекло) свет проходящий, ув. 55х —

Таблица 2

Слой	Окислы						Na ₂ O (по разности)
	SiO ₂	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO		
Слой 1	55,30	—	40,92	1,31	0,70	1,34	
Слой 2	55,80	—	41,29	0,99	0,62	1,30	
Слой 3	54,70	—	41,50	1,30	0,55	1,85	
Контактное стекло	64,91	19,79	4,54	0,26	0,59	9,91	
Выработанное стекло	65,2	19,90	4,40	0,21	0,57	9,70	

Известно, что бор и натрий оказывают противоположное влияние на процесс образования муллита [7]. Различный характер разъедания каолинового бруса в щелочном и боросиликатном стеклах, по-видимому, связан с влиянием состава стекла на процесс муллитизации на контакте огнеупора со стекломассой, а именно с наличием в стекле 3С—5К бора.

Таким образом, изменение состава стекла может привести к качественным изменениям в механизме разъедания огнеупора расплавленной стекломассой, которое в целом определяет стеклоустойчивость данного огнеупора.

ՀՐԱԿԱՅՈՒՆ ՆՅՈՒԹԵՐԻ ՔԱՅՔԱՅՈՒՄԸ ԱՊԱԿՈՒ ԵՓՄԱՆ
ԷԼԵԿՏՐՈԿԱՆ ՎԱԹԱՐԱՆՆԵՐՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Նախորդ հետազոտություններում ցույց է տրված, որ բարձրաճիմք ապակիների (ապակի № 2) էլեկտրական ելիման ժամանակ, ապակու և շամոռյա հրակայունի միջև տեղի ունեցող փոխազդեցության շնորհիվ առաջ են գալիս մի շարք կոնտակտային շերտեր, որոնցից շամոռային ապակու շերտը վճռական դեր է կատարում հրակայունին քայքայումից պահպանելու գործում: Բարձրաճիմք ապակու և բորոսիլիկատային ապակիների (ՅՇ—5Ք) ելիմանը կառլինային հրակայունով երեսայտոված վառարաններում, որը կատարվել է Երևանի էլեկտրաշամպերի գործարանի № 3 փորձնական էլեկտրական վառարանում (ապակի № 2) և Քիմիայի գիտահետազոտական ինստիտուտի № 5 էլեկտրական վառարանում (ՅՇ—5Ք) հնարավորություն է ապլիս որոշ կապ հաստատել այդ կոնտակտային շերտերի ստացալման, հրակայունի և ապակու բաղադրությունների միջև: Յուրջ է տրված, որ բարձրաճիմք ապակու և կառլինային հրակայունի քայքայման ժամանակ առաջ են գալիս գրեթե նույն շերտերը, որոնք ստանում են շամոռյա հրակայունի գեպրում: Այդ շերտերի բաղադրությունները ցույց է տրված № 1 աղյուսակում: Այստեղ առաջ եկած կառլինային ապակու պահպանիչ շերտը շամոռային ապակու շերտից զանազանփում է ալյումինի օքսիդի ալելի բարձր պարունակովյամք, որը մեծացնում է այդ շերտի հրակայունությունը: 1 նկարում բերված է ճենադակյա, էմալենման և կառլինային ապակու կոնտակտային շերտերի միկրոդուսանկարը, որում երևում է, որ էմալենման շերտում հիմնական բյուրեղական ֆազը մոլլիտն է:

Կառլինային հրակայունում բորոսիլիկատային ապակու ելիման ժամանակ կոնտակտային շերտեր առաջ չեն գալիս (տե՛ս 2 աղյուսակը և 2 նկարը):

Բացատրվում է այդ նրանով, որ երկրորդ գեպրում կառլինային հրակայունի քայքայման պրոցեսի ամենազանգաղ ստադիան հենց հրակայունի լուծումն է հալված ապակում, մինչդեռ կառլինի և բարձրաճիմք ապակու փոխազդեցության արագությունը պայմանավորված է կառլինային ապակու և էմալենման շերտերի լուծմամբ: Կոնտակտային շերտերի ստացալման համար, րատ երևույթին, վճռական նշանակություն ունի բորի պարունակությունը հիմնական ապակում, որը կարող է մոլլիտացման պրոցեսի վրա բացասական ազդեցություն ունենալ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

- 1 Մանվելյան Մ. Գ., Մելիկ-Ախնազարյան Ա. Փ., Կոստանյան Կ. Ա., Ուլաճյան Ս. Օ., Երզնկյան Ե. Ա. և Օգանեսյան Ս. Կ. «Известия АН Армянской ССР», (сер. техн. наук), т. XI, № 4, 1958.
- 2 Безбородов М. А. «Амни и свили в стекле. М., 1953.
- 3 Մանվելյան Մ. Գ., Մելիկ-Ախնազարյան Ա. Փ., Կոստանյան Կ. Ա., Ուլաճյան Ս. Օ., Կատեվոսյան Կ. Մ. «Известия АН Армянской ССР» (сер. техн. науки) (в печати).
- 4 Մանվելյան Մ. Գ., Մելիկ-Ախնազարյան Ա. Փ., Կոստանյան Կ. Ա., Երզնկյան Ե. Ա., Ուլաճյան Ս. Օ. և Կատեվոսյան Կ. Մ. «Стекло и керамика», № 2, 1960.
- 5 Մանվելյան Մ. Գ. և Մալխասյան Զ. Գ. «Известия АН Армянской ССР» (сер. техн. наук), т. XIII, № 1, 1960.
- 6 Славянский Т. В. Газы в стекле. Оборонгиз, 1958.
- 7 Августинник А. И. Физическая химия силикатов. М., 1948.

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

С. М. МУСАЕЛЯН

О ЗНАЧЕНИИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ В
ВОДНОЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ РЕГУЛИРОВАНИИ РЕЧНОГО
СТОКА НА ПРИМЕРЕ НОВОСИБИРСКОЙ ГЭС

О значении гидрологических прогнозов говорится очень много. Некоторые специалисты-гидроэнергетики считают, что прогнозы почти не имеют никакого значения в водноэнергетическом регулировании при наличии диспетчерских схем. Другие же, наоборот, приписывают прогнозам очень большое значение. Все эти высказывания основываются на общих суждениях, не подкрепленных какими-либо даже приближенными практическими расчетами.

Такое положение объяснимо, так как значение прогнозов для гидроэнергетики связано с очень многими факторами, как-то: тип станции, место ее работы в энергосистеме, степень регулирования речного стока, регулирующие возможности водохранилища, характер водного режима реки и др. Кроме того, во время эксплуатации ГЭС возникают многочисленные непредвиденные условия работы, которые крайне затрудняют выявление истинного значения прогнозов для данной ГЭС. Вследствие этого до настоящего времени исследование вопроса об эффективности прогноза при эксплуатации ГЭС не было проведено и этот вопрос не получил освещения в литературе.

В настоящей статье ставится выяснение следующих вопросов:

1. Прогностические возможности притока р. Оби в створе Новосибирской ГЭС с целью построения расчетного гидрографа цикла регулирования.

2. Выявление степени влияния прогрешности на режим работы Новосибирской ГЭС.

В отличие от режима тепловых станций режимы ГЭС имеют очень тесную взаимосвязь и взаимообусловленность в течение цикла регулирования (явление последействия). Поэтому, при отсутствии прогноза притока всего цикла регулирования с последующим внутрисезонным его распределением выбор режима работы ГЭС теряет свою определенность.

В период межени, как известно, ограниченность прогнозов приводит иногда к отказу не только от расчетов по установлению рационального режима, но и к отказу от использования этих прогнозов. В связи с этим следует отметить, что до настоящего времени вопрос о построении рас-

четного гидрографа с вовлечением в круг прогностических возможностей не исследовался и в литературе не получил освещения.

Одной из доступных в эксплуатационных условиях схем построения расчетного гидрографа следует считать использование довольно простого метода прогнозирования последующей водности при помощи предыдущей. При этом совершается последовательный переход от месяца к месяцу до конца цикла регулирования. Так, по зарегистрированному (или прогнозу) стоку за сентябрь определяется октябрьский сток, а по нему — ноябрьский и т. д. [3].

Построенный таким образом расчетный гидрограф ввиду непрерывного нарастания погрешности прогноза, очевидно, будет иметь сравнительно невысокую точность.

Для р. Оби кроме этой схемы представляется также возможным построить расчетный гидрограф по другой, физически более обоснованной схеме, сущность которой заключается в установлении корреляционных зависимостей между притоком оставшейся части цикла регулирования $W_{\text{меж.}}^n$ и притоком за прошедший месяц $W_{\text{мес.}}^{n-1}$, т. е.

$$W_{\text{меж.}}^n = f(W_{\text{мес.}}^{n-1}). \quad (1)$$

При наличии таких прогнозов выбор режима станции сводится к подбору года—аналога или пользованию первой схемой для разбивки общего межennaleго (или ее части) стока на более короткие расчетные периоды.

Гидрограф половодья р. Оби в створе Новосибирской ГЭС характеризуется одним или двумя пиками. Так, за весь имеющийся период наблюдений с 1894—1960 гг. имели место: половодья с двумя пиками — 25 раз (38%), с одним пиком — 41 раз (62%).

Проведенный анализ 41 гидрографа половодья Оби с одним пиком показал полную возможность и допустимость для водноэнергетических расчетов замены фактического половодного гидрографа расчетным в виде двух сходящихся у вершины парабол. Гидрографы половодья со многими пиками не поддаются схематизации, и мы допускаем в этом случае, что объем, получаемый вторичными подъемами, составляя всего 10—15% от всего половодного стока, не может сколь-либо ощутимо изменять достоверность наших расчетов, тем более, что такой неучтенный объем вносится в сторону уменьшения стока предстоящего половодья.

Результаты водноэнергетических расчетов по выявлению эффективности расчетных гидрографов при различных гидрологических условиях р. Оби — Новосибирская ГЭС приведены в табл. 1.

Как показывают данные этой таблицы, использование расчетных гидрографов повышает выработку энергии по сравнению с выработкой при отсутствии прогнозов в среднем для периода сработки на 0,7%, для периода наполнения — на 2,0%. Поэтому, назначение в дальнейшем режима работы Новосибирской ГЭС на основе расчетных гидрографов следует считать достаточно рациональным.

Ввиду вышеуказанной особенности режима работы ГЭС при рассмотрении вопроса о влиянии погрешности прогноза на режим работы следует

рассматривать прогнозы притока не на отдельные промежутки времени, а на весь цикл (или его остаток) регулирования. Однако первоначально построенная диспетчерская линия должна исправляться в ходе работы — по мере приближения к концу данного гидрологического сезона.

Исправление (корректировка) прогнозной диспетчерской линии следует понимать как внесение определенной поправки в последующий ход диспетчера путем выяснения фактического его состояния и ожидаемого притока последующего периода.

Для отдельного выяснения роли диспетчерских графиков и прогнозов в водноэнергетическом регулировании рассмотрим следующие два способа работы ГЭС:

а) Первоначально построенная прогнозная диспетчерская линия не проверяется.

б) Первоначально построенная прогнозная диспетчерская линия сохраняется до даты проверки ее фактического состояния, а затем строится новая — на оставшийся период регулирования.

Таблица 1

Значения потерь энергии при режиме без учета прогнозов ($\Delta\mathcal{E}_б$, у.) и с учетом расчетных гидрографов ($\Delta\mathcal{E}_р$, г.) р. Оби—Новосибирская ГЭС (в % от выработки при режиме с учетом абсолютно точных прогнозов)

Период сработки				Период наполнения			
год	обеспеченность стока %	$\Delta\mathcal{E}_б$, у.	$\Delta\mathcal{E}_р$, г.	год	обеспеченность стока %	$\Delta\mathcal{E}_б$, у.	$\Delta\mathcal{E}_р$, г.
1919—20	4,5	2,3	1,7	1919	4,5	0,7	1,5
1913—14	13,6	2,2	1,5	1913	13,6	1,6	0,8
1912—13	18,2	1,8	1,9	1912	18,2	1,6	1,8
1921—22	27,3	1,7	1,3	1916	27,3	2,2	3,6
1917—17	41,0	1,7	1,7	1902	41,0	4,5	1,4
1920—21	59,1	1,7	1,1	1920	59,1	4,4	1,0
1907—08	68,2	1,2	0,7	1908	68,2	4,9	4,9
1909—10	81,4	1,0	0	1905	81,4	7,9	2,4
1917—18	86,5	0	0	1911	86,5	9,0	4,6
Средняя		1,8	1,1			4,3	2,3

Первый из указанных способов работы означает, что прогноз периода сработки (наполнения) мы принимаем как «абсолютно точный», и работаем в течение всего цикла регулирования по первоначально построенной линии. Это означает, что прогнозы за любой промежуток времени (сезон, месяц, декада) имеют такую же ошибку и знак, какими обладает вышеуказанный прогноз. В данном случае первоначально полученный гидрограф за счет прогнозов притока за последующие периоды корректироваться не может так как после каждого такого периода выбираемый будущий гидрограф будет включать в себя такую же ошибку.

Второй способ работы основан на предположении, что при неоправдании прогноза притока за предыдущий период (обычно месяц) каким бы точным ни был прогноз будущего отрезка времени, мы должны его

исправлять на соответствующую величину ошибки предыдущего прогноза и по исправленному таким образом гидрографу рассчитать будущий режим работы ГЭС.

Следует отметить, что при такой схеме работы можно выявить не только эффективность прогнозов одновременно с диспетчерскими графиками, но и задаваясь определенной величиной погрешности прогноза притока за длительный период, определять необходимые точности прогнозов за более короткие промежутки этого периода.

В водноэнергетическом регулировании стока кроме погрешности прогноза имеет большое значение также и ее знак.

В настоящей постановке вопроса ввиду жесткого режима водопотребления на Новосибирской ГЭС можно сразу сказать, что при бытовых расходах, превышающих гарантированные навигационные попуски, занижение прогнозов для нее не имеет никакого значения.

Здесь приобретает очень важное значение завышение прогнозов. Так, при работе по первоначальному прогнозному диспетчеру мы назначили бы завышенные отдачи, что в конечном счете привело бы к большим потерям из-за снижения напора с самого начала, а также возникновению угрозы неисполнения водохранилища. С момента, когда бытовые расходы становятся меньше гарантированных навигационных попусков, независимо от знака ошибки прогноза потери электроэнергии на ГЭС неизбежны.

Занижение стока приводит к потерям энергии из-за неиспользования стока, что в конечном счете приводит к увеличению холостых сбросов.

Разница в использовании прогнозов с ошибками разных знаков в период наполнения можно объяснить следующим образом: когда бытовые расходы в реке становятся больше максимальной пропускной способности турбин, занижение прогноза не имеет значения. В этом случае большое значение приобретают прогнозы с ошибкой в сторону уменьшения стока. В остальных случаях, как и в период сработки, независимо от знака ошибки прогнозов потери энергии неизбежны.

На основе этих положений были подсчитаны потери энергии на Новосибирской ГЭС при погрешностях прогнозов ± 10 , ± 20 , ± 30 и $\pm 40\%$ от фактической величины. Результаты расчетов приведены в табл. 2а, б. Данные этой таблицы характеризуют степень влияния погрешности прогноза на выработку энергии Новосибирской ГЭС, а также эффективность наличия абсолютно точных прогнозов (по сравнению с вариантом при отсутствии прогнозов).

Как показывают данные табл. 2а, режим работы без дальнейших уточнений (корректировки) гидрографа влечет за собой потери больше чем при отсутствии прогнозов. Поэтому, прогноз периода межени (половодья) без корректировки гидрографа теряет свое значение (при больших погрешностях).

Сравнивая данные табл. 2б с данными табл. 2а, можно установить в каждом отдельном случае тот дополнительный выигрыш в выработке энергии, который получается при корректировке последующего гидрографа.

Величины потерь энергии при неоптимальном режиме работы Новосибирской ГЭС
(в % от выработки при наличии абсолютно точных прогнозов)

а) при режиме без корректировки гидрографа

Режим работы		При обеспеченности стока периода, %											
		Сработки						Наполнения					
		10	25	50	75	90	95	10	25	50	75	90	95
Без учета прогнозов		2,4	2,3	1,8	1,0	0,5	0	1,5	2,0	3,5	5,7	8,7	11,0
С учетом неточных прогнозов, в % от фактической величины	+10	1,5	1,3	1,3	1,0	0	0	0	0	0	1,2	4,7	6,6
	+20	3,7	3,5	3,0	2,4	2,6	1,3	0	0	2,0	5,7	9,4	15,4
	+30	5,1	5,1	3,2	4,0	3,9	2,7	0	2,1	5,0	8,5	13,1	17,4
	+40	6,6	5,8	6,1	5,2	5,7	4,0	0	2,4	6,1	10,8	16,3	20,0
	-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,8	3,3
	-20	1,5	1,2	0,8	0	0	0	0,7	1,2	2,3	3,9	6,1	7,9
	-30	2,0	1,6	1,6	0,7	0	0	3,8	4,4	5,7	7,4	9,4	13,2
-40	2,6	2,5	2,5	1,3	0	0	6,9	7,5	8,4	9,7	13,0	15,8	

б) при корректировке гидрографа в конце месяца (межень) и декады (половодье)

С учетом неточных прогнозов, в % от фактической величины	+10	1,0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	+20	1,8	1,7	1,6	1,1	0,7	0	0	0	0,7	1,5	2,8	5,5
	+30	2,4	2,3	2,0	1,8	1,9	1,0	0	1,5	2,3	3,2	6,9	8,8
	+40	4,0	4,0	3,8	3,2	3,0	1,5	0	1,8	4,3	5,9	8,1	11,2
	-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	-20	0,5	0,3	0,3	0	0	0	0	0	0,7	1,2	2,0	4,0
	-30	0,7	0,6	0,6	0	0	0	1,4	1,8	3,0	3,1	5,4	7,2
-40	1,2	1,0	1,0	0,3	0	0	2,6	3,9	4,9	5,9	7,2	9,0	

+ прогнозы завышены.

- прогнозы занижены.

Как видно из табл. 2б, при прогнозах меженного и половодного притока с ошибкой в $\pm 20\%$ и принятой схеме корректировки гидрографа в конце месяца (межень) и декады (половодье) потери энергии независимо от приточности повсеместно получаются гораздо меньше, чем при отсутствии прогнозов.

Выводы. 1. Выбор режима сработки и наполнения водохранилища Новосибирской ГЭС целесообразно производить на основе расчетных гидрографов, получаемых путем построения корреляционных зависимостей притока межени и схематизации гидрографа половодья.

2. При принятой схеме прогнозирования и выборе режима ошибка прогнозов притока межени и половодья в $\pm 20\%$ для Новосибирской ГЭС можно считать удовлетворительной.

3. Эффект использования гидрологических прогнозов неразрывно связан с диспетчерскими правилами и рекомендациями по управлению данным водохранилищем. Энергетический эффект гидрологических прогнозов всецело принадлежал бы им самим только в том случае, если бы первоначально построенная диспетчерская линия не проверялась до конца цикла регулирования. С увеличением числа корректировок мы тем самым учитываем значение диспетчерских графиков и в результате прогнозная диспетчерская линия после каждой такой проверки строится заново.

4. Для Новосибирской ГЭС (и вообще для всех низконапорных ГЭС) выбор прогнозов с заниженным стоком предпочтителен (с точки зрения вызываемой потери энергии).

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Золотарев Т. Л. Расчетная модель гидрографа, труды МЭИ, вып. XIX, ГЭИ, 1956.
2. Истошина О. А. Формирование стока верхней Оби и методика его предвычисления, труды ЦИП, вып. 58, 1958.
3. Золотарев Т. Л. и Кесминас А. П. Прогнозирование внутригодового распределения речного стока, труды МЭИ, вып. XXXV, ГЭИ, 1961.
4. Мусаелин С. М. Об оценке методики и оправданности гидрологических прогнозов притока к ГЭС, труды МЭИ, вып. XXXV, ГЭИ, 1961.

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Э. А. НАРГИЗЯН

К ВОПРОСУ О МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ
И ЭНЕРГИИ МНОГОЛЕТНЕГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЧИСЛА ЧАСОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

На перспективных уровнях развития энергетики в объединенной энергосистеме Закавказья, абсолютное значение выработки гидроэнергии будет заметно увеличиваться. При этом значительная часть ГЭС в перспективной системе не будет располагать многолетним регулированием, в то же время, объединение энергосистем открывает новые возможности многолетнего регулирования с помощью тепловых электростанций Азербайджана. Поэтому для Закавказья поднимается актуальный вопрос регулирования энергии и мощности с помощью тепловых электростанций.

В настоящей работе предлагается метод расчета потребной энергии и мощности для самого тяжелого периода многолетнего регулирования если регуляторами являются тепловые станции или их агрегаты разного типа. Для разработки этой части вопросов регулирования использованы работы отдела общей энергетики АН АрмССР [1].

Были приняты следующие ограничения:

1. Принимается известный состав незарегулированных ГЭС системы при их заданных параметрах и вынужденной работе.
2. Расчет идет на основе среднемесячных мощностей всех ГЭС. При этом не учитываются внутренние (декадные и суточные) колебания мощностей.
3. Считается, что исключено многолетнее и сезонное регулирование водохранилищами.

Принимается, что для армянской энергосистемы не требуется многолетнего регулирования, так как: а) многолетние колебания располагаемой мощности гидроэлектростанции Армении от водности года невелики по сравнению с грузинской системой (всего 20%) и их может обеспечить Севан-Разданский каскад; б) ряд среднемесячных мощностей армянских ГЭС не совпадают с рядом грузинской энергосистемы. А поскольку гидроэлектростанции Азербайджана не требуют многолетнего регулирования (Мингечаурская гидроэлектростанция имеет бассейн многолетнего регулирования), фактически остается необходимость регулирования только по грузинской энергосистеме. Такое упрощение при определении потребной мощности и энергии многолетнего регу-

лирования в данном случае допустимо, так как само исследование имеет методический характер.

Следует иметь в виду, что многолетнее регулирование при помощи теплоэлектростанции существенно отличается от регулирования при помощи водохранилищ.

При использовании в качестве регулятора мощности тепловых электростанций, в отличие от регулирования водохранилищами, возможно пополнение выработки недостающей энергии маловодного года, но невозможно накопление избыточной энергии многоводного года. Поэтому в данном случае, если не идти на сброс воды в многоводном году, регулирование надо проводить от маловодного года до многоводного года, от линии 1—1 до линии 3—3 (рис. 1). Выбор линии 1—1 и 3—3 зависит от принятого уровня обеспеченности.

Для Закавказских ГЭС, особенно грузинских, характерно то, что большинство из них не имеют сезонного регулирования, следовательно, при расчетах многолетнего регулирования нужно учитывать

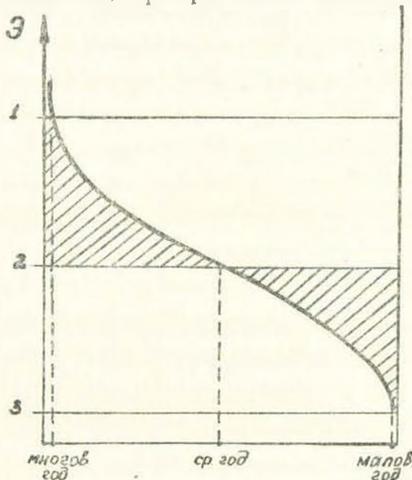


Рис. 1.

не только годовую выработку электроэнергии, но и распределение выработки по месяцам, т. е. необходимую мощность.

Расчет ведется следующим образом.

Для данного определенного уровня развития системы берутся многолетние данные месячных мощностей гидроустановок, имеющих вынужденный режим работы в течение года и за многолетие. В этом случае для грузинских незарегулированных ГЭС имеющие данные позволяют использовать 24-летний ряд (с 1931 по 1954 гг.),

что в значительной степени характеризует многолетние изменения показателей стока.

Полученные энергетические ряды среднемесячных мощностей всех незарегулируемых ГЭС системы суммируются. При этом для каждого месяца каждого года получается

$$N = \sum_{i=1}^I N_{\text{мес}},$$

где i — число ГЭС (рис. 2).

Получаем суммарный многолетний ряд среднемесячных мощностей для системы незарегулированных ГЭС.

Для наиболее характерных лет получается примерно следующая картина (рис. 2).

В данном случае, в качестве примера, за расчетный принят наиболее многоводный год ряда (1941 г.).

Считается, что в расчетном многоводном году не требуется ре-

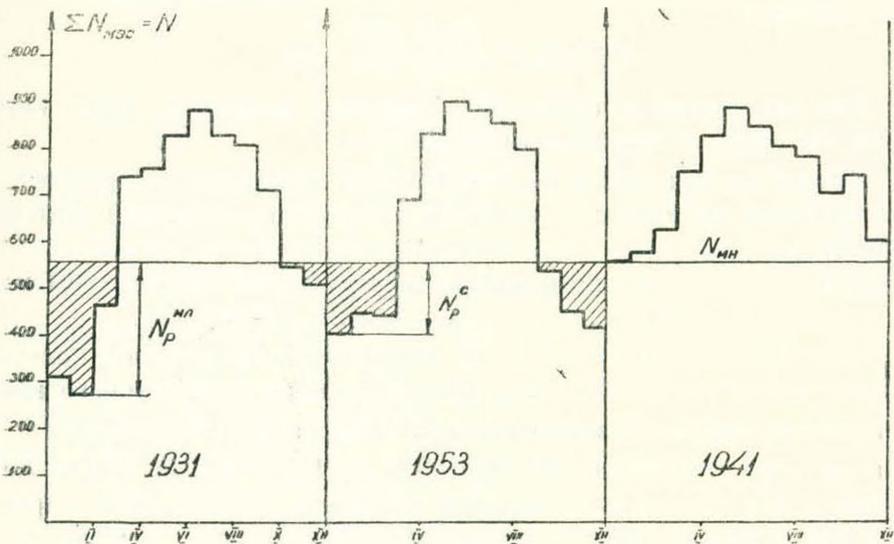


Рис. 2.

гулирования, а в остальные годы регулирование требует такой мощности, чтобы приравняться к многоводному году. Мощность и энергия, потребные при таком регулировании называются многолетними.

Многолетняя регулирующая мощность определяется следующим образом:

$$N_{\text{мин}}^{\text{мин}} - N_i^{\text{мин}} = N_{\text{рег}}^i,$$

где $N_{\text{мин}}^{\text{мин}}$ — минимальная мощность многоводного года, а $N_i^{\text{мин}}$ и $N_{\text{рег}}^i$ — являются соответственно минимальная мощность и потребная регулирующая мощность i -ого года. Соответственно этим мощностям получается регулирующая энергия (заштрихованная площадь на рис. 2).

Конечно это не вся энергия, которая требуется для полного многолетнего регулирования. В те месяцы, когда мощность выше $N_{\text{мин}}^{\text{мин}}$ энергия также изменяется в зависимости от водности года, т. е. фактически требует многолетнего регулирования. Эта часть регулирования сливается с годичным регулированием и поэтому в вышеупомянутой работе [1] относится к годично-многолетнему регулированию.

В данной работе мы не касаемся этого вопроса, ограничиваясь только многолетним регулированием, основанным на минимальных значениях каждого года, то-есть в расчет взят самый тяжелый участок многолетнего регулирования. Анализ 24-х летнего ряда грузинской энергосистемы показывает, что многолетнее регулирование в основном требуется для осенне-зимнего периода, поэтому водность года определяется энергией и мощностью этого периода. Расчеты, произведенные по этим принципам, показали, что самым многоводным годом ряда был 1941 год. Если от минимальной среднемесячной мощ-

ности графика этого года провести линии, параллельные абсциссам всех графиков, то легко определяется мощность, потребная для регулирования (рис. 2). Для нашего случая максимальная регулирующая мощность

$$N_{\text{рег}}^{\text{max}} = 554 - 272 = 282 \text{ мвт.}$$

Для лет другой водности регулирующая мощность будет иметь другое значение, в зависимости от $N_{\text{min}}^{\text{min}}$.

Имея $N_{\text{рег}}$ для каждого месяца легко определить потребность в регулирующей энергии для каждого года (заштрихованная площадь графика).

Так, например, регулирующая энергия в 1931 г. была 494 млн. квтч, в 1932 г.—540 млн. квтч, а $N_{\text{рег}1932} = 216 \text{ мвт}$ и т. д.

Для определения мощности и соответственно энергии, большое значение имеет выбор нижнего уровня мощности, от которого начинают регулирование. В зависимости от N_{min} (N_{min}^{\prime} , $N_{\text{min}}^{\prime\prime}$, $N_{\text{min}}^{\prime\prime\prime}$ и т. д.) меняется и регулирующая мощность ($N_{\text{рег}}^{\prime}$, $N_{\text{рег}}^{\prime\prime}$, $N_{\text{рег}}^{\prime\prime\prime}$ и т. д.). Аналогично и для уровня максимальной мощности (рис. 3). Для определения самой целесообразной регулирующей мощности нужно провести технико-экономический расчет.

Так как в данной энергосистеме имеются теплоэлектростанции нескольких типов, то очень важно проследить взаимосвязь энергии и мощности. Так, если мы возьмем регулирующую мощность $N_{\text{рег}}$ и разделим ее на 3 мощности ΔN_1 , ΔN_2 , ΔN_3 (рис. 4), то получим, что число часов использования для этих ΔN различны: ΔN_1 требуется в те-

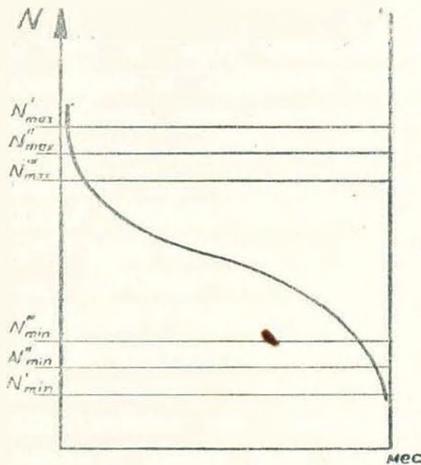


Рис. 3.

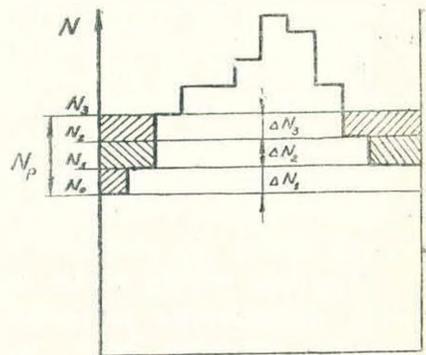


Рис. 4.

чение меньшего числа часов в год, чем ΔN_2 , а ΔN_2 меньше, чем ΔN_3 . Для того чтобы яснее показать связь энергии и мощности, потребная регулирующая мощность была разделена по зонам, путем проведения линии, параллельной абсцисс, соответствующей определенной мощно-

сти. При этом для каждой зоны получаются свои величины для мощности, энергии и продолжительности времени использования.

Картина будет такая:

$$\frac{\Delta N_1 \quad \mathcal{E}_1 \quad h_1}{\Delta \mathcal{E}_1 \quad \mathcal{E}_1 \quad h_1}$$

$$\dots$$

$$\frac{\Delta N_n \quad \mathcal{E}_n \quad h_n}{N_{\text{пер}} \quad \mathcal{E}_{\text{пер}} \quad h}$$

где $\Delta N_1 + \Delta N_2 + \dots + \Delta N_n = N_{\text{пер}}$.

Так как мы делаем расчет в многолетнем разрезе, то энергия и число часов использования будут среднееголетние, то-есть для каждого ΔN имеем $\mathcal{E} = \frac{\Sigma \Delta \mathcal{E}_i}{24} \quad h = \frac{\Sigma \Delta \mathcal{E}_i}{24 \Delta N}$, где $\Delta \mathcal{E}_i$ — регулирующая энергия соответствующей мощности каждого года.

Рассматривая 24-х летний ряд грузинской системы с незарегулированными гидростанциями, получаем следующие данные:

	ΔN_1	ΔN_2	ΔN_3	ΔN_4	ΔN_5	ΔN_6	ΔN_7	ΔN_8	ΔN_9	ΔN_{10}	ΔN_{11}
$N_{\text{пер}}$ <i>мгвт</i>	35	25	25	25	25	25	25	25	25	25	22
<i>h</i> час	30	142	387	843	1180	1600	2080	2700	3220	3540	3880

С помощью предложенной таблицы можно найти соответствующее место в системе для многолетнего регулирования для ТЭС разных типов. Для мощности используемой очень редко удельный расход топлива не играет существенной роли. Поэтому целесообразно было бы оставить старые ГЭС и очень большим удельным расходом топлива (назначенных к демонтажу) для обеспечения самой верхней части пика многолетнего регулирования и соответственно отсрочить сооружение новых мощностей для этой цели. Однако расходы на ремонт могут сделать нецелесообразным использование очень маломощных агрегатов даже и в пике графика.

Для районов добычи природного газа, т. е. при дешевом топливе пригодном для газотурбинной установки (ГТУ), последние могут стать наиболее выгодными для покрытия значительной части графика. При этом для пиковой части подойдут дешевые, многоэкономичные ГТУ, а для больших *h* дорогие, но имеющие высокий кпд. В зонах дорогого топлива и при умеренном *h* наиболее целесообразным могут оказаться высокоэкономичные агрегаты — паротурбинные блоки высоких параметров и ГТУ большой мощности и высоким кпд.

Таким образом разделение регулирующей мощности по зонам позволяет нам ясно увидеть связь мощности с энергией и для каждой зоны энергии выбрать соответственно подходящие агрегаты или целые ТЭС для обеспечения многолетнего регулирования.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Торгомян М. С.* Методика установления потребности в электроэнергии для многолетнего регулирования выработки незарегулированных гидроэлектростанций. Результаты комплексных исследований по Севанской проблеме. Том III, часть II, Ереван, 1950.
2. *Schulze R. C. R.* Small units give Low-cost peaking. „Electrical world“ september 14, 1959.

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

60 ЛЕТ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ Н. К. СНИТКО

В ноябре текущего года в Ленинграде отмечается шестидесятилетие со дня рождения и тридцатипятилетие научной, педагогической и общественной деятельности заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, доктора технических наук, профессора Николая Константиновича Снитко.

Профессор Снитко является известным ученым в области строительной механики. Его перу принадлежат свыше 150 научных работ, в том числе курсы по «Сопроотивлению материалов» и «Строительной механике». Широко известны его монографии в области устойчивости и динамики сооружений. Около 30 лет Н. К. Снитко является начальником кафедры строительной механики Военной академии транспорта и тыла, отдает много сил и труда воспитанию военных инженеров. Под его руководством подготовлена большая группа научных работников, многие из которых имеют степень доктора технических наук.

Профессор Н. К. Снитко является председателем секции «Сопроотивления материалов и строительной механики» Ленинградского Дома ученых АН СССР и членом Редколлегии Ленинградского отделения Госстройиздата. Он является постоянным консультантом ряда проектных и строительных организаций Ленинграда, оказывая им значительные консультации в вопросах проектирования и возведения сложных и оригинальных сооружений.

Редколлегия журнала желает юбиляру крепкого здоровья и новых творческих успехов.

В. В. ПИНАДЖАН

Էլեկտրաէներգեսիկա

Վ. Գ. Բեկլյարով. Հիդրոէլեկտրակայանների համար λ հաստատուն գործակցի որոշման եղանակները: Էներգետիկ տեսիլների էկոնոմիկ սեփականների համար ալգորիթմի կադմուսը ցանցերում առանց կորուստների 7

Էլեկտրատեխնիկա

Յու. Մ. Շանկաբյան. Հոսանքները և լարումները էլեկտրական սխեմանում հիդրոէներատորների կայունացած ասինխրոն սեփականի դեպքում 21

Հիդրաէներգեսիկա

Բ. Կ. Ստֆարով. Պրոպիլերային տուրբինների էլեկտրական հարմարեցումը և ուղղիչ ապարատի բացվածքի միջև եղած ունիվերսալ կապը 29

Ինժեներային սեյմոնոլոգիա

Բ. Կ. Կարապետյան. Երևանի շենքերի տատանումների էքսպերիմենտալ ուսումնասիրությունը արդյունքները 39

Քիմիական սեյմոնոլոգիա

Մ. Գ. Մանվելյան, Կ. Ս. Կոստանյան և Ե. Հ. Երզնկյան. Հրակայուն նյութերի քայքայումը ալակոն երկման էլեկտրական լատարաններում 55

Ինֆրակարմիր ճառագայթում

Ս. Մ. Մուսաբեյլյան. Հիդրոլոգիական կանխորոշման նշանակությունը զետի հոսքի ջրա-էներգետիկ կանոնադրման հարցում ըստ նովոսիբիրսկի օբինակի
Ե. Ա. Նարզիկյան. Բազմաձյա կարգավորման հզորություն և էներգիայի որոշման մեթոդի հարցը կախված օգտագործվող մամերի բանակից 67

Փննդագատություն և բիբլիոգրաֆիա

С О Д Е Р Ж А Н И Е

Электротехника

В. Г. Бегларов. Способы определения постоянных коэффициентов λ гидростанций. Алгоритм для построения экономичного режима смешанной энергосистемы без учета потерь в сетях 7

Электротехника

Ю. М. Шахназарян. Токи и напряжения в электрической системе при установленном асинхронном режиме гидрогенератора 21

Гидроэнергетика

- Б. Е. Сафаров.* Универсальная связь расхода с оборотностью и открытием направляющего аппарата пропеллерных турбин 29

Инженерная сейсмология

- Б. К. Карапетян.* Результаты экспериментального исследования колебаний характерных зданий г. Еревана 39

Химическая технология

- М. Г. Манвелян, К. А. Костянян и Е. А. Ерзкян.* Переход огнеупора стекловаренной печи в стекломассу при электроварке стекла 55

Научные заметки

- С. М. Мусаян.* О значении гидрологических прогнозов в водноэнергетическом регулировании речного стока на примере Новосибирской ГЭС . . . 61
- Э. А. Наргизян.* К вопросу о методике определения мощности и энергии многолетнего регулирования в зависимости от числа часов использования . . . 67

Критика и библиография

