ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՌ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР
Տեխնիկական գիտութ. սերիա XV, № 1, 1962 Серия технических наук

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

В. Г. БЕГЛЯРОВ

ОПТИМАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ ЭНЕРГОСИСТЕМ

§ 1. Уравнения режимов для переменных уровней воды в водохранилищах ГЭС

Широко известные в настоящее время уравнения относительных приростов с постоянными коэффициентами λ для гидростанций являются исходной базой для построения экономичных режимов энергосистем при постоянных уровнях воды в водохранилищах. Если уровни воды в водохранилищах ГЭС при ведении режимов меняются, то эти уравнения, как известно, не дают оптимального решения задачи*. Имеются попытки решения указанной задачи в рамках уравнений относительных приростов, но в предположении переменности коэффициентов λ во времени. Однако полученные функции не являются непосредственными решениями этих уравнений, а потому проблема построения экономичных режимов этим приемом не снимается, так как с равным успехом за критерии экономичности можно принять любые уравнения, связывающие необходимые нам параметры в любой зависимости с оговоркой, что они справедливы при правильном выборе некоторых, входящих в них, функций времени. Следовательно, нам нужно найти такие уравнения, решениями которых были бы эти искомые функции.

Первая попытка строгого математического решения этой общей задачи принадлежит И. М. Марковичу [2, 3]**. Уравнения И. М. Марковича совпадают с аналогичными уравнениями метода удельных экономий, предложенных несколько раньше Б. И. Никитиным [6], но полученными им менее строгим путем. И. М. Маркович ищет условие минимума затрат топлива, которые он представляет в виде алгебраических функций переменных мощностей ГЭС в отдельные дискретные промежутки времени всего рассматриваемого периода регулирования и расходов воды на ГЭС за эти промежутки. Причем мощности ГЭС в каждый промежуток времени зависят от расходов воды ГЭС за этот и все предыдущие промежутки времени.

* Сказанное может быть легко проверено на практических примерах.

** Здесь имеется в виду решение задачи в детерминистической постановке, когда считаются заранее известными график приточности воды в водохранилища ГЭС и график нагрузки энергосистемы на рассматриваемый период времени.

Эти расходы влияют на сработку водохранилища и на напор. Указанная зависимость для каждой ГЭС не является раз и навсегда заданной, а меняется с изменением графика приточности в водохранилище. Поэтому, чтобы найти решение задачи, используя эти уравнения, нужно каждый раз предварительно найти указанные зависимости.

Решение задачи по указанным уравнениям нам представляется неосуществимым из-за невозможности построения, алгоритма обеспечивающего получение решения за достаточно короткое время. В частности, одним из препятствий следует считать необходимость построения зависимостей мощностей ГЭС в каждый промежуток времени от расходов воды на ГЭС за данный и все предыдущие промежутки времени. Заметим, что, если для решения этой задачи воспользоваться методом простого перебора, то при использовании современных даже весьма быстродействующих вычислительных машин (например с быстродействием в 10^6 операций в секунду) потребуется много времени. Так как указанная задача, строго говоря, вариационная, то одним из таких алгоритмов, если он найден, может служить алгоритм для решения дифференциальных уравнений Эйлера, являющихся условием минимума функционала затрат топлива в энергосистеме за рассматриваемый период времени при известных ограничениях налагаемых на решение.

Найдем дифференциальные уравнения, являющиеся условием минимума затрат топлива в системе с переменными уровнями воды в водохранилищах ГЭС. Решению этой задачи для системы ТЭС и независимых ГЭС была посвящена американская работа [1]. Здесь предлагается решение этой задачи с необходимыми уточнениями и рассматриваются уравнения оптимального режима для энергосистем с каскадными ГЭС.

Известно, что отметка верхнего бьефа ГЭС есть функция текущего объема воды $Z_в\ (v)$ в водохранилище. Если объем воды в водохранилище до начала регулирования обозначить через $V_н$, и если отметку нижнего бьефа считать только статической функцией расхода воды $Z_н\ (Q)$ через турбины, т. е. не учитывать переходных процессов в нижних бьефах, то выражение для напора ГЭС будет иметь вид:

$$H = Z_в \left[V_н - \int\limits_{t_0}^{t} [q(t) - Q(t)]\, dt \right] - Z_н(Q), \tag{1}$$

где $q\ (t)$ — приточность в водохранилище, а $Q\ (t)$ расход воды через турбины. $\int\limits_{t_0}^{t_1} Q\ (t)\ dt = V_1$ — есть объем сработки из водохранилища.

Как видим $\frac{dV}{dt} = Q$. Условием минимума затрат топлива в энергосистеме без учета потерь в сетях для одной ТЭС и ГЭС будет условие минимума функционала

$$\Phi = \int\limits_{t_0}^{t_1} T\,(P_н - Q \cdot H \cdot \eta)\,dt, \tag{2}$$

где T — затраты топлива, $P_н$ — нагрузка энергосистемы, η — к.п.д. ГЭС, $QH\eta = P_г$ мощность ГЭС, $P_н - P_г = P_т$ — мощность ТЭС, т. е. — условие баланса мощностей реализовано непосредственно в выражении для функции T.

Изопериметрическое условие реализации гидростанцией заданного объема воды учтено значениями функции V в точках t_0 и t_1. Для того, чтобы получить абсолютный экстремум для широкого класса кривых $Q\,(t)$, заданных значением определенного интеграла $\int\limits_{t_0}^{t_1} Q\,(t)\,dt = V_1$ не следует фиксировать значения $Q\,(t)$ в точках t_0 и t_1. В противном случае мы получаем относительный экстремум только для класса кривых, проходящих через заданную пару точек. Условием минимума функционала (2) будет дифференциальное уравнение

$$\frac{\partial T}{\partial P_т} \cdot \left[Q\left(\frac{\partial H}{\partial V} \cdot \eta + \frac{\partial \eta}{\partial H} \cdot \frac{\partial H}{\partial V} \cdot H\right) - \frac{d}{dt}\left(H \cdot \eta + \frac{\partial H}{\partial Q} \cdot Q \cdot \eta + \frac{\partial \eta}{\partial Q} \cdot Q \cdot H + \right.\right.$$

$$\left.\left. + \frac{\partial \eta}{\partial H} \cdot \frac{\partial H}{\partial Q} \cdot Q \cdot H \right)\right] - \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial P_т}\right) \cdot \left(H \cdot \eta + \frac{\partial H}{\partial Q} \cdot Q \cdot \eta + \right.$$

$$\left. + \frac{\partial \eta}{\partial Q} \cdot Q \cdot H + \frac{\partial \eta}{\partial H} \cdot \frac{\partial H}{\partial Q} \cdot Q \cdot H \right) = 0. \tag{3}$$

Если в энергосистеме имеется несколько гидростанций, то получим систему дифференциальных уравнений вида (3). Для определения функции $\frac{\partial T}{\partial P_т}$ используется уравнение баланса мощностей $P_н - P_г = P_т$. При неучете потерь в сетях систему из любого числа ТЭС можно представить в виде одной эквивалентной ТЭС. То же при рассмотрении длительных циклов регулирования. Для ГЭС этого сделать невозможно из-за налагаемого на них условия реализации заданного объема воды. В общем случае уравнение (3) является нелинейным дифференциальным уравнением 2-го порядка.

Используя изложенный принцип, найдем условие максимума выработки электроэнергии отдельной ГЭС. Выработка электроэнергии отдельной ГЭС за промежуток времени от t_0 до t_1 есть функционал

$$\Phi = \int\limits_{t_0}^{t_1} (Q \cdot H \cdot \eta)\,dt. \tag{4}$$

Условием максимума этого функционала будет дифференциальное уравнение

$$Q\cdot\left(\frac{\partial H}{\partial V}\cdot\eta+\frac{\partial\eta}{\partial H}\cdot\frac{\partial H}{\partial V}\cdot H\right)-\frac{d}{dt}\left(H\cdot\eta+\frac{\partial H}{\partial Q}\cdot Q\cdot\eta+\frac{\partial\eta}{\partial Q}\cdot Q\cdot H+\right.$$

$$\left.+\frac{\partial\eta}{\partial H}\cdot\frac{\partial H}{\partial Q}\cdot Q\cdot H\right)=0. \qquad (5)$$

Если в энергосистеме имеется каскад ГЭС, то мы можем рассмотреть следующие два случая:

1) ГЭС каскада имеют водохранилища с одинаковым циклом регулирования, а расположение их таково, что верхний бьеф нижней станции служит непосредственно нижним бьефом верхней.

2) ГЭС каскада имеют водохранилища с одинаковым циклом регулирования, и уровни нижних бьефов являются статическими функциями расходов воды только данной ГЭС.

В первом случае напор на любой промежуточной ГЭС будет представлен выражением

$$H_{(n+1)}=Z_{B(n+1)}\left[V_{B(n+1)}+\int\limits_{t_0}^{t}\left[q_{n+1}(t)+Q_n(t)-Q_{n+1}(t)\right]dt\right]-$$

$$-Z_{H(n+1)}\left\{V_{B(n+2)}\int\limits_{t_0}^{t}\left[q_{n+2}(t)+Q_{n+1}(t)-Q_{n+2}(t)\right]dt\right\}, \qquad (6)$$

а во втором случае выражением

$$H_{n+1}=Z_{B(n+1)}\left\{V_{B(n+1)}+\int\limits_{t_0}^{t}\left[q_{n+1}(t)+Q_n(t)-Q_{n+1}(t)\right]dt\right\}-Z_{H(n+1)}(Q) \qquad (7)$$

Оптимальное решение задачи в первом случае описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений вида:

$$\frac{\partial T}{\partial P_1}\cdot\left[Q_1\left(\frac{\partial H_1}{\partial V_1}\cdot\eta_{11}+\frac{\partial\eta_{11}}{\partial H_1}\cdot\frac{\partial H_1}{\partial V_1}\cdot H_1\right)+Q_2\left(\frac{\partial H_2}{\partial V_2}\cdot\eta_{12}+\frac{\partial\eta_{12}}{\partial H_2}\cdot\frac{\partial H_2}{\partial V_1}\right)-\right.$$

$$\left.-\frac{d}{dt}\left(H_1\cdot\eta_{11}\,Q_1\cdot H_1\cdot\frac{\partial\eta_{11}}{\partial Q_1}\right)\right]-\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial P_1}\right)\cdot\left(H_1\cdot\eta_{11}+Q_1\cdot H_1\cdot\frac{\partial\eta_{11}}{\partial Q_1}\right)=0$$

. . . .

$$\frac{\partial T}{\partial P_m}\cdot\left[Q_m\cdot\left(\frac{\partial H_m}{\partial V_m}\eta_{1m}+\frac{\partial\eta_{1m}}{\partial H_m}\cdot\frac{\partial H_m}{\partial V_m}\cdot H_m\right)-\frac{d}{dt}\left(H_m\cdot\eta_{1m}+\right.\right.$$

$$\left.\left.+Q_m\cdot H_m\cdot\frac{\partial\eta_{1m}}{\partial Q_m}\right)\right]-\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial P_m}\right)\cdot\left(H_m\cdot\eta_{1m}+Q_m\cdot H_m\cdot\frac{\partial\eta_{1m}}{\partial Q_m}\right)=0, \qquad (8)$$

а во втором случае системой вида:

$$\frac{\partial T}{\partial P_1}\cdot\left[Q_1\cdot\left(\frac{\partial H_1}{\partial V_1}\cdot\eta_{11}+\frac{\partial\eta_{11}}{\partial H_1}\cdot\frac{\partial H_1}{\partial V_1}\cdot H_1\right)-Q_2\left(\frac{\partial H_2}{\partial V_2}\cdot\eta_{12}+\frac{\partial\eta_{12}}{\partial H_2}\cdot\frac{\partial H_2}{\partial V_1}\cdot H_2\right)-\right.$$

$$-\frac{d}{dt}\left(H_1\cdot\tau_{1}+Q_1\cdot\tau_{1}\cdot\frac{\partial H_1}{\partial Q_1}+Q_1\cdot H_1\cdot\frac{\partial\tau_{11}}{\partial Q_1}+Q_1\cdot H_1\cdot\frac{\partial\tau_{11}}{\partial H_1}\cdot\frac{\partial H_1}{\partial Q_1}\right)\Bigg|-$$

$$-\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial P_1}\right)\cdot\left(H_1\cdot\tau_{1}+Q_1\cdot\tau_{1}\cdot\frac{\partial H_1}{\partial Q_1}+Q_1\cdot H_1\cdot\frac{\partial\tau_{1}}{\partial Q_1}+Q_1\cdot H_1\cdot\frac{\partial\tau_{1}}{\partial H_1}\cdot\frac{\partial H_1}{\partial Q_1}\right)=0$$

. . . .

$$\frac{\partial T}{\partial P_1}\Bigg|\, Q_m\cdot\left(\frac{\partial H_m}{\partial V_m}\cdot\tau_m+\frac{\partial\tau_{1m}}{\partial H_m}\cdot\frac{\partial H_m}{\partial V_m}\cdot H_m\right)-$$

$$-\frac{d}{dt}\left(H_m\cdot\tau_{1m}+Q_m\cdot\tau_1\cdot\frac{\partial H_m}{\partial Q_m}+Q_m\cdot H_m\cdot\frac{\partial\tau_{1m}}{\partial Q_m}+Q_m\cdot H_m\cdot\frac{\partial\tau_{1m}}{\partial H_m}\cdot\frac{\partial H_m}{\partial Q_m}\right)\Bigg|-$$

$$-\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial P_1}\right)\cdot\left(H_m\cdot\tau_{1m}+Q_m\cdot\tau_{1m}\cdot\frac{\partial H_m}{\partial Q_m}+Q_m\cdot H_m\cdot\frac{\partial\tau_{1m}}{\partial H_m}\right.$$

$$\left.+Q_m\cdot H_m\cdot\frac{\partial\tau_{1m}}{\partial H_m}\cdot\frac{\partial H_m}{\partial Q_m}\right)=0 \qquad (9)$$

§ 2. Оптимальный режим системы с газовыми станциями и компрессорными магистрального газопровода

С развитием в нашей стране сети магистральных газопроводов, подающих газ на промышленные и энергетические нужды, и с использованием в энергосистемах ТЭС, работающих на газовом топливе и неимеющих собственных газохранилищ, появляется необходимость разработки методики построения такого режима работы энергосистемы, для которого следует планировать переток газа к отдельным газовым станциям для получения наименьших затрат жидкого и твердого топлива в системе. Постановка этой задачи принадлежит Г. Т. Адонцу. Здесь мы рассмотрим условие оптимума для поставленной задачи. Для наглядности не будем учитывать потерь в сетях. Заметим, что мощности отдельных газовых потоков будут зависеть как от характеристик самих газовых ТЭС, так и от характеристик компрессорных станций магистрального газопровода, получающих питание непосредственно из сети рассматриваемой энергосистемы. Мощности, потребляемые ими за рассматриваемый период времени, заранее неизвестны. Суммарный же объем газа, идущий на покрытие промышленных и энергетических нужд района за рассматриваемый период времени, например сутки, известен. Если в энергосистеме имеются гидростанции, использующие воду высокогорных озер, и если вода представляет большую ценность для целей ирригации, можно решить задачу на минимум затрат воды. Схема газопровода и отбора газа может быть любой. Функционал затрат жидкого и твердого топлива в системе с учетом всех налагаемых на задачу ограничений будет иметь вид:

$$\Phi=\int_{t_0}^{t_k}\Big[T+\lambda_1\cdot Q_1+\cdots+\lambda_n\cdot Q_n+\gamma\,(\Gamma_{n1}+\cdots+\Gamma_{nl}+\Gamma_{c1}+\cdots\Gamma_{cm})+$$

$$+\gamma(t)\cdot(P_{н}+P_{k1}+\dots+P_{kl}-P_{т}-P_{г1}-\dots-P_{гn}-P_{z1}-\dots-P_{zm})]\,dt \qquad (10)$$

Здесь Γ_z — затраты газа на газовых ТЭС. $\Gamma_п$ — отбор газа на промышленные нужды в отдельных точках газопровода, являющийся известной функцией времени. $P_н$ — нагрузка системы без учета компрессорных станций, P_k — мощности компрессорных станций, $P_г$ — нагрузки ГЭС, P_z — нагрузки газовых ТЭС. $P_т$ — нагрузки ТЭС на жидком и твердом топливе. Условием минимума для (10) в окончательном виде будет система алгебраических уравнений

$$\frac{\partial T}{\partial P_т}=\lambda_1\cdot\frac{\partial Q_1}{\partial P_{г1}}=\dots=\lambda_n\cdot\frac{\partial Q_n}{\partial P_{гn}}=$$

$$=\frac{\dfrac{\partial \Gamma_{z1}}{\partial P_{z1}}\cdot\gamma}{1-\dfrac{\partial P_{k1}}{\partial \Gamma_{k1}}\cdot\dfrac{\partial \Gamma_{z1}}{\partial P_{z1}}-\dfrac{\partial P_{k2}}{\partial \Gamma_{k2}}\cdot\dfrac{\partial \Gamma_{z1}}{\partial P_{z1}}-\dots}=\dots=$$

$$=\frac{\dfrac{\partial \Gamma_{zm}}{\partial P_{zm}}\cdot\gamma}{1-\dfrac{\partial P_{k1}}{\partial \Gamma_{k1}}\cdot\dfrac{\partial \Gamma_{zm}}{\partial P_{zm}}-\dfrac{\partial P_{k2}}{\partial \Gamma_{k2}}\cdot\dfrac{\partial \Gamma_{zm}}{\partial P_{zm}}-\dots}=\gamma(t), \qquad (11)$$

где Γ_k — весовой расход газа на компрессорной. Разность давлений на выкиде и приеме компрессоров принята постоянной. Введя обозначения

$$\frac{\partial T}{\partial P_т}=\varepsilon_т,\quad \frac{\partial Q}{\partial P_г}=\varepsilon_г;\quad \frac{\partial \Gamma_z}{\partial P_z}=\varepsilon_z;\quad \frac{\partial P_k}{\partial \Gamma_k}=\tau,$$

получим

$$\varepsilon_т=\lambda_1\cdot\varepsilon_{г1}=\dots=\lambda_n\cdot\varepsilon_{гn}=\frac{\varepsilon_{z1}\cdot\gamma}{1-\tau_1\cdot\varepsilon_{z1}-\tau_2\cdot\varepsilon_{z1}-\dots}=\dots=$$

$$=\frac{\varepsilon_{zm}\cdot\gamma}{1-\tau_1\cdot\varepsilon_{zm}-\tau_2\cdot\varepsilon_{zm}-\dots}. \qquad (12)$$

Для компрессорных, которые расположены за точкой отбора газа к данной газовой ТЭС, $\tau=0$.

Используя выводы § 1, указанную задачу можно решить и в общем виде с учетом сработки водохранилищ ГЭС.

§ 3. Алгоритм для построения оптимального режима работы системы ТЭС и одной ГЭС, с учетом сработки водохранилища, на математической машине дискретного действия

Условием оптимума для данного случая является дифференциальное уравнение (3), рассмотренное нами в первом параграфе. Это уравнение n-степени относительно функции V и ее первой и второй производной по времени. Степень уравнения определяется степеням полиномов $\frac{\partial T}{\partial P_т}$, $\frac{\partial \eta}{\partial Q}$, $\frac{\partial Z_B}{\partial Q}$ и $\frac{\partial Z_н}{\partial Q}$. Так как на практике, в ряде случаев, можно пренебречь изменением уровня воды в нижнем бьефе ГЭС, то допустив также, что к.п.д ГЭС постоянен и равен некоторому среднему его значению, уравнение (3) можно представить в виде:

$$\frac{\partial T}{\partial P_т}\cdot\frac{\partial H}{\partial v}\cdot q+\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial P_т}\right)\cdot H=0. \tag{13}$$

При получении уравнения (13) из уравнения (3) было принято во внимание, что $\mu(v)=\frac{dh}{dv}=-\frac{\partial H}{\partial V}$. Это видно из выражения для напора (1) при $Z_н(Q)=\mathrm{const}$. Уравнение (13), также как и уравнение (3), является нелинейным дифференциальным уравнением второго порядка n-степени относительно V, $\frac{dV}{dt}$ и $\frac{d^2V}{dt^2}$ и неразрешимо известными численными методами решения дифференциальных уравнений. Однако, принимая во внимание, что $\frac{d^2V}{dt^2}$ входит только в выражение для относительного прироста системы ТЭС $\frac{\partial T}{\partial P_т}=\varepsilon_т(P_т)$, и что аналитическое выражение или график $\varepsilon_т(P_т)$ нам известен, можно решить уравнение (13) искусственным приемом не представляя его в явном виде относительно $\frac{d^2V}{dt^2}$. Решение этого уравнения даст нам оптимальные графики нагрузок системы ТЭС и одной ГЭС на длительный отрезок времени, определяемый циклом регулирования водохранилища ГЭС, и, вместе с тем, даст те объемы сработки из водохранилища за меньшие промежутки времени, например сутки, которые нами обычно предполагаются известными при построении суточного оптимального режима энергосистемы по уравнениям относительных приростов.

Разрешив (13) относительно $\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial P_т}\right)$ и введя принятые нами сокращенные буквенные обозначения, получим

$$\varepsilon_т(P_т)\cdot\frac{\mu(v)\cdot q}{H}=-\frac{d}{dt}\varepsilon_т(P_т). \tag{14}$$

Для решения уравнения (14) разобьем рассматриваемый цикл регулирования на l интервалов времени Δt одинаковой длительности. Значение $\varepsilon_т(P_т)$ в первый момент времени задаем произвольно. Заметим, что перебрав все l интервалов и соблюдая условие (14), мы можем не получить сразу в первом же цикле расчёта искомого решения, удовлетворяющего заданному конечному значению функции $V(t)=V_l$. Однако, учитывая, что относительный прирост системы ТЭС в данном случае будет монотонно убывающей функцией времени, что следует из того, что оба сомножителя в левой части уравнения (14) положительны и, следовательно, значение нагрузки системы ТЭС также будет убывающей функцией времени, можно искомое решение найти перебором режимов с различными, но выбираемыми по определенному закону значениями $\varepsilon_т(P_т)$, осуществляя несколько циклов расчета. При этом, очевидно, уменьшению конечных значений функции $V(t) = V_l$ будут соответствовать увеличения начальных значений $\varepsilon_т(P_т) = \varepsilon_{т1}$ и наоборот. Заметим, что речь идет не о строго заданной математической зависимости, а только о тенденции, т. е. о соответствии в изменении конечного значения V_l и начального значения $\varepsilon_{т1}$. Что же касается реальной математической зависимости, то для каждого конкретного режима она может быть самой различной.

Это легко видеть из выражения для $V_l = \int_{t_1}^{t_l} \frac{P_т}{H \cdot \tau} \cdot dt$. Для различных значений $\varepsilon_{т1}$ график изменения H во времени имеет различную форму, так как при этом меняется график $P_т(t) = P_н(t) - P_г(t)$.

При решении задачи характеристику $\varepsilon_т(P_т)$ мы предполагаем продолженной в область фиктивных нагрузок ТЭС до значения $P_т$, равного максимальной нагрузке энергосистемы. Ограничения по мощности станций мы будем вносить после получения общего математического решения. При проведении расчета будем пользоваться вспомогательными формулами:

$$(\varepsilon_т)_{t+\Delta t} = (\varepsilon_т)_t - \left(\frac{d}{dt}\varepsilon_т\right) \cdot \Delta t \tag{15}$$

$$P_{нt} - P_{тt} = P_{гt} \tag{16}$$

$$V_{пt} = \sum_{j=1}^{j=t} q_j \tag{17}$$

$$v_t = V_н + V_{пt} - V_t \tag{18}$$

$$Q_t = 102 \frac{P_{гt}}{H_t \cdot \tau} \tag{19}$$

$$V_{t+\Delta t} = V_t + Q_t \cdot \Delta t. \tag{20}$$

Здесь t текущие дискретные значения моментов времени от 1 до l. Длительность интервала рекомендуется брать равной 1. При этом объемы воды должны быть соответствующим образом пересчитаны в условные объемы. Можно решить задачу и в фактических единицах измерения времени, однако, это менее удобно. Нам заданы $\varepsilon_т(P_т)$, $q(t)$, $P_н(t)$ аналитически или таблицей дискретных значений, а также значения $V_н$, $V_{t=1} = 0$, τ, l, v_{min} и v_{max} и значение $\varepsilon^{i-1}_{т(t-1)}$, где i — номер расчетного цикла.

Для практических расчетов вполне достаточно, если $l = 24$. Порядок решения задачи следующий:

1. По характеристике $P_т(\varepsilon_т)$ находим величину $P^i_{тt}$ для данного значения $\varepsilon^i_{тt}$.

2. По характеристике $q(t)$ находим q^i_t для данного t и вычисляем $V^i_{пt}$ по известным q для данного и всех предыдущих моментов времени по формуле (17).

3. По формуле (16) вычисляем $P^i_{гt}$.

4. По формуле (18) вычисляем v^i_t.

Если $v^i_t < v_{min}$, принимаем $v^i_t = v_{min}$.

Если $v^i_t > v_{max}$, принимаем $v^i_t = v_{max}$.

5. По характеристикам $H(v)$ и $\mu(v)$ находим значения H^i_t и μ^i_t для известного значения v_t.

6. По формуле (19) вычисляем Q^i_t.

7. Сравниваем число t с числом l. Если $t < l$, переходим к пункту 8. Если $t = l$, переходим к пункту 9.

8. Из уравнения (14) определяем величину $\left(\frac{d}{dt}\varepsilon_т\right)^i_t$ и по формулам (15) и (20) вычисляем значения $(\varepsilon_т)^i_{t+\Delta t}$ и $V^i_{t+\Delta t}$ для следующего момента времени и переходим к пункту 1.

9. Подсчитывается разность $V^i_{пl} - V^i_l = v$ и вычисляется отношение $\frac{v}{V^i_{пl}}A^i$. Если $|A^i| < 0.03$, печатаются значения $P^i_г$, Q^i, H^i, V^i и $V^i_п$ для каждого момента времени от 1 до l и расчет заканчивается. Если $|A^i| > 0{,}03$, переходим к пункту 10.

10. Находим значение величины $\varepsilon^{i+1}_{т1}$ для следующего расчетного цикла и переходим к пункту 1. Значение $\varepsilon^{i+1}_{т1}$ находится последовательным делением интервала $(\varepsilon_{тmax}, \varepsilon^i_{т1})$ или $(\varepsilon^i_{т1}, \varepsilon_{тmin})$, где $\varepsilon_{тmax}$ и $\varepsilon_{тmin}$ наибольшее и наименьшее значения относительных приростов системы ТЭС, найденные на двух предыдущих циклах расчета, предшествовавших данному циклу i. Если $A^i < 0$, $\varepsilon^{i+1}_{т1}$ находится делением интервала $(\varepsilon_{тmax}, \varepsilon^i_{т1})$, если $A^i > 0$, $\varepsilon^{i+1}_{т1}$ находится делением интервала $(\varepsilon^i_{т1}, \varepsilon_{тmin})$. При этом предварительно необходимо из двух значений относительных приростов системы ТЭС, найденных на двух предыдущих циклах определить наименьшее и наибольшее значения.

При решении рассмотренной задачи к.п.д. ГЭС необязательно принимать постоянным. Его можно считать независящим от расходов воды через турбины, но зависимость к.п.д. от величины напора на ГЭС может учитываться. В последнем случае мощность ГЭС будет представлена выражениями

$$P_г = Q \cdot H(V) \cdot \eta(H) = Q \cdot H(v) \cdot \eta(v) = Q \cdot h(v),$$

где $h(v)$ уже фиктивная кривая объемов водохранилища, в отличие от реальной $H(v)$. Эту кривую можно построить заранее. Таким образом, решение задачи вновь свелось к условию постоянства к.п.д., но только в данном случае его величина равна единице. Легко проверить, что исходное уравнение у нас не изменится.

Институт энергетики
АН Армянской ССР

Поступило 31.XII 1961

Վ. Գ. ԲԵԳԼԱՐՈՎ

ԷՆԵՐԳՈՍԻՍՏԵՄՆԵՐԻ ՕՊՏԻՄԱԼ ՌԵԺԻՄՆԵՐԸ

Ա մ փ ո փ ու մ

Ներկա հոդվածում տրված է էներգոսիստեմների օպտիմալ ռեժիմների մաթեմատիկական լուծումը հիդրոէլեկտրակայանների կասկադի համար, երբ հաշվի է առնվում ջրի մակարդակի փոփոխությունը ջրամբարում։

Տրված է էներգոսիստեմների օպտիմալ ռեժիմների լուծումը նաև գազային էլեկտրակայան և կոմպրեսորային մագիստրալ գազամուղ ունեցող սիստեմների համար։

Էներգոսիստեմների էկոնոմիկական ռեժիմների լուծման համար, երբ սիստեմը բաղկացած է ջերմաէլեկտրակայանից և երկարատև կարգավորման ջրամբար ունեցող մեկ հիդրոէլեկտրակայաններից կազմված է ալգորիթմ, որը կարելի է իրականացնել ժամանակակից դիսկրետ գործող հաշվիչ մեքենաների վրա։

ЛИТЕРАТУРА

1. *A. L. Glimm, L. K. Kirchmayer.* Economic Operation of variable- Head Hydroelectric Plants. Power Apparatus and Systems, № 39. 1958.
2. *И. М. Маркович.* О методике экономического распределения активных мощностей между ГЭС и ТЭС. Общая энергетика. Вып. I, 1959.
3. *И. М. Маркович.* Основные режимные принципы автоматического регулирования частоты и активной мощности в объединениях энергосистем и ЕЭС. Журн. Электричество, № 1, 1959.
4. *И. М. Маркович.* Режимы энергетических систем. Госэнергоиздат, 1957.
5. *В. М. Горштейн.* Наивыгоднейшие режимы работы гидростанций в энергетических системах. Госэнергоиздат, 1959.
6. *Б. Н. Никитин.* Гидростанции в единой энергетической системе. Изд. АН СССР, 1960.
7. *А. С. Смирнов.* Транспорт и хранение газа. Гостоптехиздат, 1950.