

О. П. ЩЕРБАКОВА

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ПИКОВОЙ МОЩНОСТИ

Использование межсистемных связей для покрытия пиковой неравномерности, является одним из способов покрытия пиков графиков нагрузки вообще. В работе [1] был исследован режим встречных энергетических потоков (условно названный реверсивным режимом первого рода). Такой режим может быть достигнут при размещении на одном конце передачи базисной мощности, а на другом резервной или пиковой. Если рассматривать объединение состоящее из двух энергосистем, из которых одна (*A*) имеет мощную регулируемую ГЭС или каскад ГЭС с неограниченными возможностями регулирования, другая (*B*) состоящая в основном из тепловых электростанций, то по условиям покрытия перспективного электробаланса, в первую энергосистему необходимо будет ввести конденсационную мощность для покрытия базисной части графика нагрузки, а в другую — пиковую мощность. Исследования [1] показали, что целесообразно часть мощности ГЭС сосредоточить и передавать в соседнюю систему для покрытия пиковой зоны графика нагрузки с целью вытеснения пиковой конденсационной мощности. Недостающую мощность в системе *A* по балансу можно покрыть или путем перетока базисной мощности обратно по ЛЭП или путем наращивания конденсационной мощности в самой системе. Подобным объединением можно представить упрощенную схему объединения энергосистем Армении и Азербайджана.

До последнего времени, электробаланс Армэнергосистемы в основном покрывался выработкой ГЭС Севан—Разданского каскада. Однако, гидроресурсы республики недостаточны и для покрытия бурно растущей потребности в электроэнергии, интенсивно строятся, а так же проектируются на перспективу тепловые электростанции на природном газе [2]. Развитие энергосистемы Азербайджанской ССР так же планируется по пути ввода только тепловых электростанций на местном топливе.

Характерной особенностью Севан—Разданского каскада ГЭС является то обстоятельство, что оз. Севан, расположенное в голове каскада, является идеальным многолетним регулятором, а наличие промежуточных бассейнов суточного регулирования в конце деривации

делают систему весьма гибкой и станции каскада могут вести, независимо друг от друга режим работы. Вследствие сокращений пусков воды из оз. Севан снизится количество отдаваемой им энергии, а так же степень использования установленной мощности каскада [3], поэтому, часть установленной мощности каскада ГЭС, не участвующая в покрытии нагрузки системы, может рассматриваться как свободная мощность, а также полноценным резервом объединенной системы.

В настоящей работе сделана попытка применить метод математического моделирования при решении вопроса использования свободных мощностей Севан—Разданского каскада, в условиях строго заданного количества воды, для покрытия острого пика графика нагрузки другой системы, при наличии межсистемной ЛЭП, с вытеснением конденсационной мощности специальной пиковой электростанции. Режим межсистемной ЛЭП в данном случае не рассматривается и считается, что результирующий режим ЛЭП является оптимальным. В рассматриваемом случае покрытия пиковых зон графиков нагрузки энергосистем *A* и *B*, общий электробаланс, а так же покрытие суммарной потребности по мощности можно графически (рис. 1).

Пусть установленная мощность ГЭС каскада будет N_y^r , величина ее участвующая в покрытии пика графика нагрузки системы *A* —

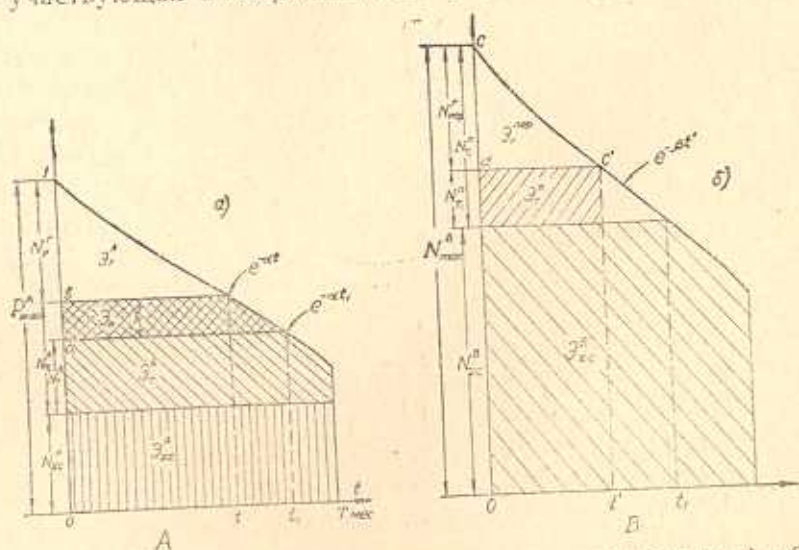


Рис. 1. Покрытие пиковой зоны графика нагрузки энергосистем *A* и *B*.

$N_{р}^r$, тогда величина мощности равная $N_{св}^r = N_y^r - N_{р}^r$ будет считаться свободной.

Если максимум нагрузки системы *A* обозначить через P_{max}^A , то часть нагрузки, равная $P_{max}^A - N_{р}^r$ будет покрываться тепловыми электростанциями (существующими до расчетного периода и вновь вводимой базисной), сезонными ГЭС, а так же базисной мощностью перетока из системы *B*. Аналогично, на рис. 16 представлена структура баланса мощности и энергии в системе *B*.

Для покрытия пиковой зоны графика нагрузки системы B , свободной мощностью каскада $N_{св}^B$, необходимо соответствующее количество энергии или, что то же воды, объем которой ограничен описанными выше условиями. В данной работе предлагается следующий способ решения; от линии aa' (рис. 1а) отсекается площадь $abb'a'$ высотой h^* , тогда количество энергии равно, в соответствующем масштабе, этой площади, при наличии $N_{св}^B$ и регулирующих возможностей каскада может быть передана в систему B для покрытия острого пика равного площади dcc' (рис. 1б).

Таким образом получаем, что при условии равенства площадей отсекаемых на графиках нагрузки систем A и B , с учетом потерь электроэнергии в ЛЭП, т. е.

$$\text{пл. } abb'a' = \text{пл. } dcc' + \Delta \mathcal{E}_n, \quad (1)$$

где $\Delta \mathcal{E}_n$ — потери электроэнергии в ЛЭП, величина пиковой мощности переданной в систему B будет $N_{пер}^B$, на эту же величину уменьшится мощность пиковой электростанции, планируемой для покрытия пика в системе B и последнее станет равной $N_1^B = N_1^B - N_{пер}^B$. Для покрытия же нагрузки равной h в системе A , увеличивается мощность тепловой станции N_1^A на эту же величину. С целью упрощения расчетов, величина резервной мощности и расходы на собственные нужды, считаются включенными в максимум нагрузки каждой энергосистемы.

Таким образом получаем, что путем увеличения мощности базисной электростанции в системе A на величину h и передачи энергии равной площади $abb'a'$ в систему B , в последней вытеснится мощность пиковой станции на величину $N_{пер}^B$, которая будет значительно больше величины h^* . Варьирующей величиной в данном случае становится величина h .

Кроме энергетического эффекта, получающегося от передачи пиковой мощности и энергии по ЛЭП, значительный эффект так же получается в результате улучшения условий эксплуатации пиковой электростанции, с переходом последней в зону графика нагрузки с более равномерным режимом работы, количественная оценка данного эффекта данной работе не производится. Оптимальная величина h должна определяться на базе технико-экономических расчетов. Критерием оптимальности принимается принцип „минимума расчетных затрат“ по объединенной энергосистеме в целом. Для построения математической модели объединенной энергосистемы, графики нагрузки систем A и B представляются в виде кривых продолжительностей с аналитическим выражением соответственно

$$P_A = P_{max}^A e^{-\alpha t} \quad \text{и} \quad P_B = P_{max}^B e^{-\beta t'}, \quad (2)$$

где P_A и P_B — ординаты соответствующих кривых продолжительности;

α и β — факторы нагрузок систем A и B определяющиеся из условия приведенного в [4];

t и t' — относительные величины продолжительности соответствующих нагрузок.

Учитывая изложенное, выражение для „расчетных затрат“ или же оптимизирующей функции запишется в виде:

$$P_{\text{р.}}^{\text{с}} = (N_{\text{г}}^{\Lambda} + h) L_{\Lambda} + (\mathcal{E}_{\text{г}}^{\Lambda} + \mathcal{E}_{\text{п}}) \delta_{\Lambda} + U_{\text{к}} + U_{\text{гс}}^{\Lambda} + N_{\text{г}}^{\text{п}} L_{\text{п}} + \mathcal{E}_{\text{г}}^{\text{п}} \delta_{\text{п}} + N_{\text{пер}}^{\text{г}} L_{\text{пер}} + \mathcal{E}_{\text{пер}}^{\text{г}} c_{\text{п}} + N_{\text{гс}}^{\text{п}} = \min, \quad (3)$$

где L_i — эксплуатационные затраты, включающие расходы на амортизацию, текущий ремонт, заработную плату и прочие расходы в долях от стоимости электростанций;

δ_i — удельные издержки по топливу;

$c_{\text{п}}$ — себестоимость передаваемой энергии;

$U_{\text{гс}}^{\Lambda}$ — издержки систем по существующим электростанциям.

Минимум расчетных затрат (3) должен удовлетворять условию связи по энергии в виде:

$$\mathcal{E}_{\text{к}} - \mathcal{E}_{\text{г}}^{\Lambda} - \mathcal{E}_{\text{пер}}^{\text{г}} - \Delta \mathcal{E}_{\text{п}} = 0, \quad (4)$$

где $\mathcal{E}_{\text{к}}$, $\mathcal{E}_{\text{г}}^{\Lambda}$, $\mathcal{E}_{\text{пер}}^{\text{г}}$ — соответственно количество энергии, которую ГЭС каскада могут вырабатывать при заданном объеме воды, энергия каскада покрывающая пиковые зоны графиков нагрузки систем „А“ и „В“.

Кроме условия (4), необходимо, чтобы требование (3) удовлетворяло условию ограничения по мощности в виде неравенства

$$N_{\text{пер}}^{\text{г}} + h \leq P_{\text{св}}^{\text{г}}. \quad (5)$$

При решении поставленной задачи классическими методами оптимизации учет ограничений вида (5) наталкивается на большие математические трудности. Поэтому, в дальнейшем, в математической модели решаемой задачи, непосредственно ограничение (5) не будет участвовать и в дальнейшем, при получении конкретного решения, последнее необходимо проверять на удовлетворение ограничения (5) и производить соответствующие коррективы.

Нахождение минимума (3) с учетом ограничения (5) возможно „видоизмененными“ методами вариационного исчисления (неклассическими методами динамического программирования), принципом „Максима“ Л. С. Понтрягина и др. Предлагаемое решение базируется на применении классического метода „множителей Лагранжа“ для отыскания условного экстремума.

Для этой цели переменные h , $N_{\text{пер}}^{\text{г}}$, $\mathcal{E}_{\text{пер}}^{\text{г}}$, а так же потери энергии, выражаем через переменные t и t' при помощи (2). Из рис. 1 находим:

$$h = P_{\text{max}}^{\Lambda} (e^{-\alpha t} \cdot e^{-\alpha t'}) \quad N_{\text{пер}}^{\text{г}} = P_{\text{max}}^{\text{п}} (1 - e^{-\beta t'}). \quad (6)$$

Интегрируя функции $e^{-\alpha t}$ и $e^{-\beta t'}$ в соответствующих пределах получим:

$$\mathcal{E}_{\text{пер.}}^r = P_{\text{max}}^B T \left[\frac{1}{\beta} (1 - e^{-\beta t'}) - t' e^{-\beta t'} \right], \quad \mathcal{E}_n = P_{\text{max}}^A T \left[e^{-\alpha t} \left(\frac{1}{\alpha} + t \right) - e^{-\alpha t_1} \left(\frac{1}{\alpha} + t_1 \right) \right]. \quad (7)$$

Значение величины t_1 определяется из условия, когда вся заданная энергия каскада вливается в пиковую зону графика нагрузки системы А. Потери мощности и энергии в ЛЭП определяются согласно [3], в предположении, что циркуляция реактивной мощности сведена до минимума, путем размещения вдоль линии средств продольной и поперечной компенсации параметров линии. Таким образом, потери энергии в ЛЭП в функции t' выразятся в виде:

$$\Delta \mathcal{E}_n = P_{\text{max}}^B T k \left(t' + \frac{2}{\beta} e^{-\beta t'} - \frac{1}{2\beta} e^{-2\beta t'} - \frac{3}{2\beta} \right), \quad (8)$$

$$\text{где } k = \frac{R}{V'}$$

R — омическое сопротивление ЛЭП;

V' — номинальное напряжение, принимаемое постоянным.

Учитывая (6), (7) и (8), выражение (8) переписывается в виде:

$$U_{\text{ис}}^r(t, t') = M_1 + P_{\text{max}}^A e^{-\alpha t} \left[(L_A - L_p^k) + T \delta_A \frac{1}{\alpha} (1 + \alpha t) \right] + P_{\text{max}}^B e^{-\beta t'} \left[(L_n - L_{\text{пор}}) + T \frac{1}{\beta} (1 + \beta t') (\delta_n - \epsilon_n) \right] = \min. \quad (9)$$

Здесь M_1 — постоянная, включающая все члены независимые от t и t' .

Аналогично находим выражения для \mathcal{E}_k и \mathcal{E}_r^A в функции t в виде:

$$\mathcal{E}_k = P_{\text{max}}^A T \left[\frac{1}{\alpha} - e^{-\alpha t} \left(\frac{1}{\alpha} + t \right) \right], \quad \mathcal{E}_r^A = P_{\text{max}}^A T \left[\frac{1}{\alpha} - e^{-\alpha t} \left(\frac{1}{\alpha} + t \right) \right]. \quad (10)$$

Подставляя значения величин входящих в условие (4) в виде (7), (8) и (10), условие (4) переписывается в следующем виде:

$$\varphi(t, t') = P_{\text{max}}^A e^{-\alpha t} \left(\frac{1}{\alpha} + t \right) + P_{\text{max}}^B \left[e^{-\beta t'} \left(\frac{1 - 2k}{\beta} + t' \right) + \frac{k}{2\beta} e^{-2\beta t'} - k t' \right] - M = 0, \quad (11)$$

где

$$M = P_{\text{max}}^A e^{-\alpha t} \left(\frac{1}{\alpha} + t \right) + P_{\text{max}}^B \left(\frac{1}{\beta} - \frac{3k}{2\beta} \right).$$

Для нахождения минимума (9) с соблюдением условия связи (11), составляется вспомогательная функция Лагранжа в виде:

$$\Phi(t, t', \lambda) = N_{\text{ис}}^r(t, t') + \lambda \varphi(t, t') = \min. \quad (12)$$

Дифференцируя (12) по t и t' , приравнявая k нулю и упрощая получим два уравнения с неизвестными t , t' и λ :

$$(L_A - L_p^k) + T_{in} t + \lambda t = 0,$$

$$k \lambda (e^{\beta t'} + e^{-\beta t'}) + \beta T t' (\delta_n - c_{пер}) + \beta \lambda t' + \beta (L_n - L_{пер}) - 2\lambda k = 0. \quad (13)$$

Исключая λ из этих уравнений, а так же учитывая условие (11) получим два уравнения с неизвестными t и t' .

$$t = \frac{(L_A + L_p^k) [\beta t' - 2k + k(e^{\beta t'} + e^{-\beta t'})]}{\beta T t' (\delta_n - c_{пер} - \delta_A) - k T \delta_A (e^{\beta t'} + e^{-\beta t'} - 2) + \beta (L_n - L_{пер})}$$

$$P_{max}^A e^{-at} \left(\frac{1}{a} + t \right) + P_{max}^B \left[e^{-\beta t'} \left(\frac{1-2k}{\beta} + t' \right) + \frac{k}{2\beta} e^{-2\beta t'} - k t' \right] - M = 0. \quad (14)$$

Решение уравнений (14) относительно t и t' в явном виде не представляется возможным. Ниже предлагается сравнительно простой графический способ решения, заключающийся в следующем. Второе уравнение (14) представляется в виде равенства двух функций

$$f_1(t) = M - f_2(t'). \quad (15)$$

Как видно из рис. 1 величина t изменяется в пределах от t_1 до 0, при $t_1 = 1$, t изменяется в пределах от 1 до 0. Таким образом, придавая ряд значений t и t' строятся кривые $y_1 = f_1(t)$ и $y_2 = f_2(t')$ (см рис. 2а).

Используя равенство (15), составляем таблицу значений t и t' по данным которой строится кривая $t = \varphi_2(t')$. Далее из первого уравнения (14), придавая t' ряд значений строится вторая кривая зависимости t и t' , $t = \varphi_1(t')$, пересечение которых и даст искомые значения t и t' . Для нахождения оптимальных значений $N_{пер}^r$ и N_p^r по найденным значениям t и t' , размещаем на одном чертеже (рис. 2) кривые продолжительности нагрузок систем А и В (I и II квадранты), а также кривые $t = \varphi(t')$ (IV квадрант). Расчет производится следующим образом. От точки пересечения кривых $t = \varphi(t')$, O' поднимаясь вверх до кривой e^{-at} , проводим горизонталь до оси ординат, отрезок „KI“ будет равен в соответствующем масштабе, оптимальной величине N_p^r . Используя линию оборота от точки пересечения a' под-

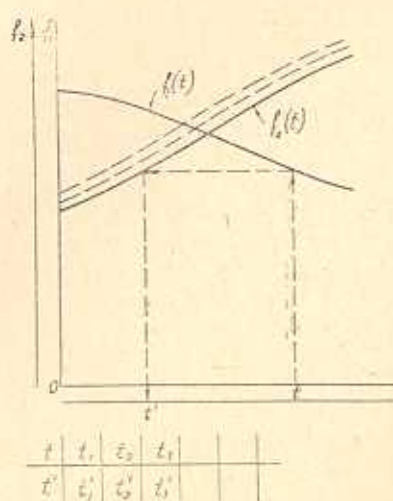


Рис. 2. Зависимость между t и t' .

Առաջարկվում է գրված հարցի լուծման եղանակ, որը հիմնված է մաթեմատիկական մոդելացման վրա: Տույց արված մեթոդը հնարավորություն է տալիս որոշելու մի էներգետիստեմից մյուսին հազորգվելիք ամենաձեռնառու պիկային հզորությունը, ինչպես նաև հետադասելու բոլոր հիմնական պարամետրերի ազդեցությունը նրա վրա:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Основные вопросы планирования единой энергетической системы СССР*. Из-во АН СССР 1959.
2. Глазунов А. А. и Глазунов А. А. „Электрические сети и системы“ М., 1960.
3. Результаты комплексных исследований по Севанской проблеме, т. III, 1962.
4. Сафаров Е. Д., Шербақов О. П. Методика определения оптимальных мощностей пиковых электростанций энергосистемы при ее развитии. Известия ВУЗ, серия „Энергетика“, № 12, 1963.