ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՌ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

Տեխնիկական գիտութ. սերիա XVIII, № 1, 1965 Серия технических наук

ЭНЕРГЕТИКА

Е. Д. САФАРОВ, К. А. ВАРДАЗАРЯН

К МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ МОЩНОСТЕЙ ПИКОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ С УЧЕТОМ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ В ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

При планировании развития энергосистем особое место занимает вопрос покрытия графиков нагрузок. Правильное сочетание пиковых и базисных мощностей в общем графике нагрузки энергосистемы возможно только на основе анализа общей эффективности энергосистемы в целом. Кроме того, большое значение имеет структура генерирующих элементов и характер графиков нагрузок на перспективу. В настоящей работе годовые графики нагрузок рассматриваются в виде кривых продолжительностей, представленных в аналитическом виде. Анализ фактического материала показал возможность представления кривой продолжительности графика нагрузки функцией вида:

$$P = P_{max} e^{-\alpha t}, \tag{1}$$

где P — текущая нагрузка; P_{max} — максимум графика нагрузки, α — параметр, зависящий от фактора нагрузки; t — продолжительность нагрузки в относительных величинах;

Выражение (1) можно записать в относительных величинах:

$$s = e^{-\alpha t}. \tag{2}$$

Параметр α определяется путем интегрирования (2) в пределах от 0 до 1, что даст годовую выработку в относительной величине, т. е.

$$\frac{1 - e^{-\alpha}}{\alpha} = \frac{t}{T}, \tag{3}$$

откуда α определяется путем подбора.

Как известно, полные годовые издержки по энергосистеме, в целом состоящей из тепловых электростанций, включают в себе первоначальные капиталовложения, эксплуатационные расходы и расходы по топливу, а также расходы не зависящие от мощности и выработки станций. Эти затраты энергосистемы запишутся в виде:

$$\sum_{i=1}^{n} U_i = \sum_{i=1}^{n} U_i(K_i) + \sum_{i=1}^{n} U_i(N_i) + \sum_{i=1}^{n} U_i(Э_i) + \sum_{i=1}^{n} U_{ki}. \tag{4}$$

где $U(K)$ — издержки, зависящие от капиталовложений;
$U(N)$ — издержки, зависящие от мощности;
$U(Э)$ — издержки, зависящие от выработки;
U_0 — издержки, не зависящие от мощности и выработки.

Каждую из составляющих выражения (4) можно записать в развернутом виде и получить окончательное выражение для суммарных годовых издержек системы:

$$\sum_{i=1}^{n} U_i = \sum_{i=1}^{n} L_i P_{\max} s_i + P_{\max} T \left\{ \sum_{i=1}^{n} \frac{a_i}{\alpha} \left[\left(1 - \sum_{i=1}^{n} s_i\right) \ln \left(1 - \sum_{i=1}^{n} s_i\right) - \left(1 - \sum_{i=1}^{n-1} s_i\right) \ln \left(1 - \sum_{i=1}^{n-1} s_i\right)\right] + \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{a_i}{\alpha} + b_i\right) s_i \right\} + \sum_{i=1}^{n} C_i, \tag{5}$$

где a и b — параметры, зависящие от типа и мощности агрегатов электростанций, а также от вида топлива и дальности его транспорта;
L и C — параметры, зависящие от экономических показателей электростанций.

Проектируемые установки системы, предназначенные для удовлетворения заданной потребности, в зависимости от своих параметров можно осуществить различными техническими вариантами. Выбор того или иного варианта установок и их элементов определяется соображениями народнохозяйственной целесообразности, решающее значение среди которых принадлежит экономике. При решении поставленной задачи, оптимальным, при прочих равных условиях, считается тот вариант, среди всех технически возможных, при котором в течение расчетного срока издержки энергосистемы в целом будут минимальными. Математически решение задачи сводится к нахождению минимума функции многих переменных.

Обозначим суммарную выработку электростанций системы $\sum_{i=1}^{n} Э_i$, а сумму потерь энергии $\sum_{i=1}^{n} Э_{ni}$; тогда потребность энергосистемы в электроэнергии $Э_n$ запишется в виде:

$$Э_n = \sum_{i=1}^{n} Э_i - \sum_{i=1}^{n} Э_{ni}. \tag{6}$$

Если величину суммарных издержек для производства единичной энергии системы обозначить λ, то суммарные издержки системы запишутся в виде:

$$\sum_{i=1}^{n} U_i = \lambda Э_п = \lambda\left(\sum_{i=1}^{n} Э_i - \sum_{i=1}^{n} Э_{пi}\right). \tag{7}$$

Тогда изменение издержек по потерянной энергии по системе при переменных $Э_i$ и $Э_{пi}$ будет:

$$\psi = \sum_{i=1}^{n} U_i - \lambda\left(\sum_{i=1}^{n} Э_i - \sum_{i=1}^{n} Э_{пi}\right). \tag{8}$$

Для получения минимума величины ψ при постоянной потребности $Э_п$, выражение (8) дифференцируем по P_i и приравниваем нулю, откуда получим

$$\frac{\partial \sum_{i=1}^{n} U_i}{\partial P_i} = \lambda\left[1 - \frac{\partial \sum_{i=1}^{n} Э_{пi}}{\partial P_i}\right]. \tag{9}$$

В связи с развитием объединения энергетических систем и установок, заслуживает внимания вопрос учета не только издержек энергосистем, но и потерь энергии в линиях передач. В первом приближении величины потерь мощности и энергии в зависимости от активной мощности с учетом

$$P_a = P \cdot \cos \varphi_{р.\,а}. \tag{10}$$

где $\varphi_{р.\,а}$ — максимальное значение угла между активной и полной мощностью, запишутся в виде:

$$P_п = k_u U^2 + \frac{k_1 P_a^2}{U^2 \cos^2 \varphi_{р.\,а}}. \tag{11}$$

$$Э_п = k_u U^2 T + \frac{k_1}{U^2 \cos^2 \varphi_{р.\,а}} \int_0^t P_a^2 dt. \tag{12}$$

Выражая мощность P_a через максимальную величину нагрузки $P_{a\,max}$, и переходя к относительным величинам, получим:

$$P_п = G_1 + G_2 e^{-2\alpha t}. \tag{13}$$

$$Э_п = G_1 T + G_2 \int_0^t e^{-2\alpha t} dt. \tag{14}$$

где G_1 и G_2 — коэффициенты характеризующие параметры линии передач.

Беря частную производную $\partial Э_п / \partial P_i$, получим:

$$\frac{\partial Э_п}{\partial P_i} = \frac{\dfrac{\partial Э_п}{\partial t_i}}{\dfrac{\partial P_i}{\partial t}} = \frac{G_2 e^{-\alpha t_i}}{-\alpha e^{-\alpha t_i}} = -G e^{-\alpha t_i}. \tag{15}$$

Для нахождения значений оптимальных мощностей берем частные производные выражения (5) по $s_1, s_2, \cdots, s_n$ и приравниваем к правой части (9), после чего получим следующую систему дифференциальных уравнений:

$$
\left.
\begin{aligned}
&\frac{\partial \sum\limits_{i=1}^{n} U_i}{\partial s_1} = P_{\max} L_1 + P_{\max} T \Bigg\{ -\frac{a_1}{\alpha} \ln(1-s_1) + b_1 + \frac{a_2}{\alpha}\Big[-\ln(1-s_1- \\
&- s_2) + \ln(1-s_1)\Big] + \frac{a_3}{\alpha}\Big[-\ln(1-s_1-s_2-s_3) + \ln(1-s_1-s_2)\Big] + \\
&\quad + \cdots + \frac{a_n}{\alpha}\Big[\ln(1-s_1-\cdots-s_{n-1}) + 1\Big]\Bigg\} = \lambda\left(1 - \frac{\partial \sum\limits_{i=1}^{n} Э_n}{\partial s_1}\right); \\
&\frac{\partial \sum\limits_{i=1}^{n} U_i}{\partial s_2} = P_{\max} L_2 + P_{\max} T \Bigg\{ -\frac{a_2}{\alpha} \ln(1-s_1-s_2) + b_2 + \frac{a_3}{\alpha}\Big[-\ln(1- \\
&- s_1 - s_2 - s_3) + \ln(1-s_1-s_2)\Big] + \cdots + \frac{a_n}{\alpha}\Big[\ln(1-s_1-s_2-\cdots- \\
&\qquad\qquad - s_{n-1}) + 1\Big]\Bigg\} = \lambda\left(1 - \frac{\partial \sum\limits_{i=1}^{n} Э_n}{\partial s_2}\right); \\
&\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\
&\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\
&\frac{\partial \sum\limits_{i=1}^{n} U_i}{\partial s_n} = P_{\max} L_n + P_{\max} T\left(\frac{a_n}{\alpha} + b_n\right) = \lambda\left(1 - \frac{\partial \sum\limits_{i=1}^{n} Э_n}{\partial s_n}\right).
\end{aligned}
\right\} \qquad (16)
$$

Для решения этой системы вычитаем из каждого предыдущего уравнения последующее. В результате получим новую систему уравнений, которая после подстановки (15) примет вид:

$$
\frac{\partial \sum\limits_{i=1}^{n} U_i}{\partial s_i} - \frac{\partial \sum\limits_{i=1}^{n} U_i}{\partial s_{i+1}} = P_{\max}\left[(L_i - L_{i+1}) + T(a_i - a_{i+1}) t_i + T(b_i - b_{i+1})\right] =
$$

$$
= \lambda G\left(e^{-\alpha t_i} - e^{-\alpha t_{i+1}}\right). \qquad (17)
$$

Значение λ определяется из последнего уравнения системы (16) путем подстановки (15) и $t_n = 1$:

$$\lambda = \frac{P_{max}\left[L_n + T\left(\frac{a_n}{\alpha} + b_n\right)\right]}{1 + Ge^{-\alpha}}. \tag{18}$$

После подстановки λ и некоторых преобразований вместо системы (17) получим систему $n-1$ уравнений вида:

$$\varphi_{0i} + \varphi_{1i} t_i = e^{-\alpha t_i} - e^{-\alpha t_{i+1}}, \tag{19}$$

где

$$\varphi_{0i} = \left(\frac{1}{G} + e^{-\alpha}\right) \frac{L_i - L_{i+1} + T(b_i - b_{i+1})}{L_n + T\left(\frac{a_n}{\alpha} + b_n\right)}, \tag{20}$$

$$\varphi_{1i} = \left(\frac{1}{G} + e^{-\alpha}\right) \frac{T(a_i - a_{i+1})}{L_n + T\left(\frac{a_n}{\alpha} + b_n\right)}. \tag{21}$$

Система (19) решается относительно t_i графическим путем, начиная с последнего уравнения, т. е. снизу. Определив t_i — экономические пределы использования мощности электростанций, по кривой продолжительности находим окончательно s_i — относительные величины мощностей пиковых электростанций.

Пример. Энергосистема с максимальной мощностью $P_{max} = 2500$ *мгвт*. По формуле (3) для $t = 5000$ часов находим $\alpha = 1,25$; тогда $e^{-\alpha} = 0,29$, т. е. мощность базисных электростанций равна $P_б = 725$ *мгвт*. Принимается, что остальная пиковая часть графика нагрузки покрывается тремя электростанциями, работающими соответственно на угле, мазуте и природном газе. Значения параметров, входящих в выражения для определения t_1 и t_2, для г. Еревана в соответствии с принятыми условиями приводятся в таблице.

Таблица

Номер электростанции	a *коп/квт·час*	b *коп/квт·час*	L *коп/квт*
I	0,401	0,037	750
II	0,239	0,021	1000
III	0,055	0,0614	1250

Система расчетных уравнений (19) при $G = 2$ принимает вид:

$$-0,070 + 0,585\, t_2 = e^{-1,25\, t_2},$$

$$-0,409 + 0,517\, t_1 = e^{-1,25\, t_1} - e^{-1,25\, t_2}.$$

Графическим путем (рис. 1) определяются $t_2 = 0,64$, $t_1 = 0,39$.
Мощности пиковых электростанций будут равны:

$s_1 = 0,39$ $N_1 = 975$ *мгвт*,
$s_2 = 0,17$ $N_2 = 425$ *мгвт*,
$s_3 = 0,15$ $N_3 = 375$ *мгвт*.

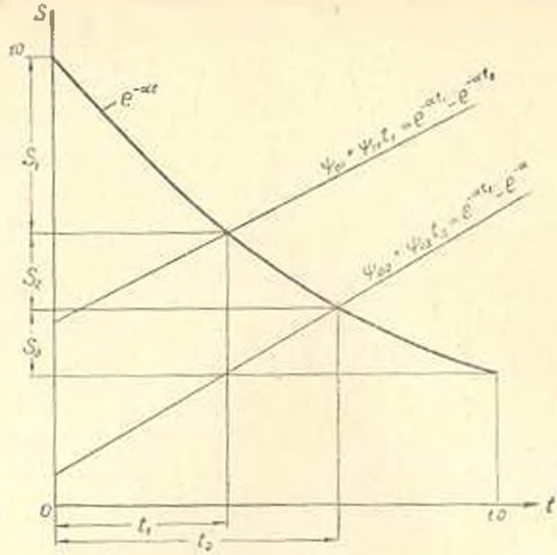

Рис. 1.

Предлагаемый метод расчета дает возможность для определения мощности пиковых тепловых электростанций в зависимости от конфигурации годового графика нагрузки, экономических параметров электростанций и параметров линий передач, с учетом потерь энергии в последних.

Ереванский политехнический
институт им. К. Маркса

Поступило 7.XII 1963

Ե. Դ. ՍԱՖԱՐՈՎ, Կ. Ա. ՎԱՐԴԱԶԱՐՅԱՆ

ԷՆԵՐԳՈՍԻՍՏԵՄԻ ԳԱԳԱԹԱՅԻՆ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՅԱՆՆԵՐԻ ՕՊՏԻՄԱԼ ՀԶՈՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻԿԱՆ, ԷԼԵԿՏՐԱՀԱՂՈՐԴՄԱՆ ԳԾԵՐՈՒՄ ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ԿՈՐՈՒՍՏՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱՌՈՒՄՈՎ

Ամփոփում

Էներգոսիստեմների զարգացման պլանավորման ժամանակ հատուկ տեղ է գրավում բեռի գրաֆիկների ծածկման հարցը։

Գագաթային և բազիսային հզորությունների միջև որոշումը էներգոսիստեմի ընդհանուր բեռի գրաֆիկում հնարավոր է միայն նրա ընդհանուր էֆեկտիվության անալիզի հիման վրա։ Ուսումնասիրվող հարցի պարզեցման համար տարեկան բեռի գրաֆիկները դիտարկված են տևողության կորերի ձևով և արտահայտված անալիտիկ տեսքով։ Որպես օպտիմալության ցուցանիշ ընդունված է հետևյալ սկզբունքը՝ տնտեսական է համարվում այն վարիանտը, որի արտադրական ծախսերը հաշվային ժամանակամիջոցում, մյուս հավասար պայմանների դեպքում, մինիմում է ստացվում, որը մաթեմատիկորեն բերում է (9) հավասարումների լուծմանը։

էլեկտրասիստեմների ընդարձակման և միավորման հետ միասին բեռի գրաֆիկների տնտեսական փոխազդեցության հարցի լուծման ժամանակ մեծ նշանակություն է ստանում էլեկտրահաղորդման գծերում էլեկտրաէներգիայի կորուստների հաշվառումը։

Հաղորդման գծերում կորցրած հզորությունը՝ կախված էներգոսիստեմի հաղորդվող հզորությունից, արտահայտելով (3—1) բանաձևով և մի շարք ընդունելություններ կատարելուց հետո (որոնք աշխատության փոքրացման համար նպատակահարմար են նախնական նախագծման ստադիայում) կորցրած էներգիայի քանակը ստացվում է (3—11)-ի ձևով։

Էներգոսիստեմի գումարային արտադրական ծախսերի համար ունենալով 3 ընդհանուր արտահայտությունը և կորցրած էներգիայի 14 մեծությունը, կարելի է որոշել գագաթային էլեկտրակայանների օպտիմալ հզորությունները, որը հանգում է 16 հավասարումների սիստեմի լուծմանը։ Այդ հավասարումների սիստեմը լուծվում է t_1-ի նկատմամբ։ Լուծումը կատարվում է գրաֆիկ եղանակով, սկսելով վերջին հավասարումից։

Որոշելով էլեկտրակայանների հզորությունների օգտագործման տնտեսական սահմանը՝ t_1-ին, տևողության կորի միջոցով վերջնականորեն գտնում ենք է հարաբերական մեծություն- -ին՝ էլեկտրակայանների հզորությունները։

Առաջարկվող մեթոդիկան ցուցադրված է լուծված օրինակով։