

## ЭНЕРГЕТИКА

Е. Д. САФАРОВ, Г. А. БУРНАЧЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
НАСОСНОАККУМУЛИРУЮЩЕЙ СТАНЦИИ, РАБОТАЮЩЕЙ  
В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Исследование динамики нагрузок энергосистем Советского Союза показывает, что в перспективе будет иметь место увеличение неравномерности графиков нагрузок. Рост пиковой нагрузки с одной стороны будут происходить за счет абсолютного роста нагрузок энергосистем, а с другой — действием ряда факторов. К числу их относятся: уменьшение продолжительности рабочего дня и рабочей недели; отмена ограничения электропотребления, связанная с недостатком мощности; сокращение ночных смен в промышленности; повышение доли коммунально-бытовой и сельскохозяйственной нагрузок и др. В связи с этим вопрос наиболее рационального покрытия пиков графиков электрических нагрузок приобретает существенное значение для всех энергосистем.

Ввиду ограниченности гидроэнергетических ресурсов в ряде районов страны и учитывая нецелесообразность использования мощных тепловых агрегатов со сверхвысокими параметрами и переменном режиме, роль специальных высокоманевренных установок для покрытия пиков нагрузок становятся все более важной. Необходимость в последних диктуется также условиями надежности и регулирования частоты в энергосистемах при покрытии резких подъемов нагрузки в утренние и предпиковые часы, а также для обеспечения кратковременных сбросов и кабрсов нагрузки. Таким образом, в связи с ростом нагрузок энергосистем в перспективе, помимо ввода мощных базисных тепловых электростанций со сверхвысокими параметрами, потребуется также строительство специальных пиковых энергоустановок, приспособленных к резко-изменяющемуся режиму работы. В качестве высокоманевренных установок для покрытия пиков графиков нагрузок могут служить гидроэлектростанции с суточным регулированием, насосно-гидроаккумуляторные станции, газотурбинные установки, конденсационные тепловые станции, а иногда и специально приспособленные для этих целей теплоэлектрические станции. Для горных районов с ограниченными гидроэнергетическими и топливными ресурсами, наилучшими из указанных установок являются суточно-регулирующие и насосно-гидроаккумуляторные электростанции (НГЭС).

В статье рассматривается вопрос эффективности включения НГЭС в энергетическую систему. Вопрос энергоэкономического обоснования будет освещен отдельно. Для анализа график продолжительности нагрузки энергосистемы представлен в аналитическом виде, в относительных единицах, т. е. в долях от максимальной мощности и числа часов в году (рис. 1).

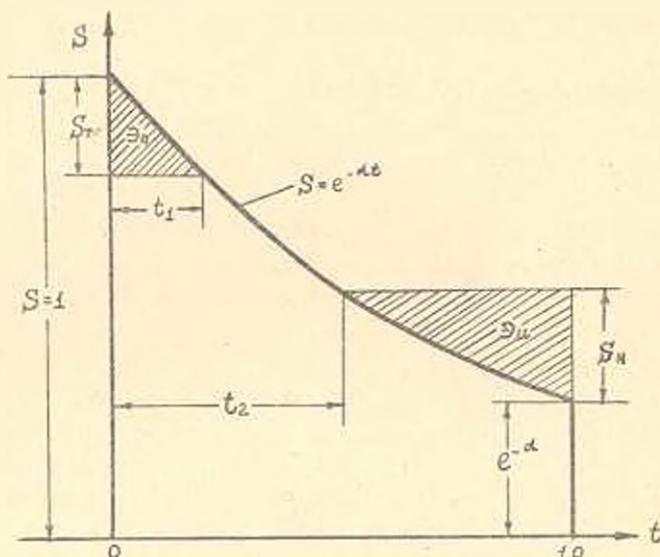


Рис. 1.

Аналитическая кривая графика продолжительности нагрузки должна по возможности полнее отражать действительный график продолжительности нагрузки энергосистемы. Анализ фактического материала показал возможность представления кривой продолжительности графика нагрузки функцией вида

$$S = e^{-\alpha t}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  — коэффициент, характеризующий фактор нагрузки, выражающий годовую выработку в относительных единицах

$$m = \frac{1 - e^{-\alpha}}{\alpha} = \frac{t}{T}; \quad S = \frac{N}{N_{\max}} \quad (2)$$

В статье рассматриваются два случая выбора параметров НГЭС в зависимости от характера изменения базисной мощности: первый — когда базисная мощность постоянна в течение рассматриваемого периода; второй — когда она меняется в определенных пределах.

#### Первый случай (базисная мощность постоянная)

Схема покрытия графика нагрузки предполагает наличие станций двух типов, из которых одна в течение всего рассматриваемого

периода работает в базисе с постоянной нагрузкой, а другая покрывает оставшуюся часть графика нагрузки. Такое условие является характерным для систем, содержащих только нерегулируемые станции (АЭС, ТЭЦ, ГЭС—без суточного регулирования и т. д.), работающие в сочетании с „чистой“ НГЭС, т. е. не располагающей своим естественным стоком.

Потребная энергия разряда НГЭС по (1) (рис. 1) равна:

$$\gamma_n = \int_0^{t_2} e^{-at} dt - t_2 e^{-at_2} = \frac{1 - e^{-at_2}(1 + at_2)}{a}. \quad (3)$$

Избыток энергии, вырабатываемой нерегулирующими станциями, равен:

$$\gamma_u = (1 - t_2) e^{-at_2} - \int_{t_1}^1 e^{-at} dt = \frac{1}{a} [e^{-at_2}(a - at_2 - 1) + e^{-a}]. \quad (4)$$

Если  $\eta$  — общий к.п.д. НГЭС, то условие, определяющее действительное количество накапливаемой энергии, запишется в виде

$$\gamma_n = \eta \gamma_u. \quad (5)$$

Согласно принятому условию должно быть соблюдено равенство  $t_1 = t_2$ . Тогда уравнение (4) запишется в виде

$$\gamma_u = \frac{1}{a} [e^{-at_1}(a - at_1 - 1) + e^{-a}]. \quad (4a)$$

Исходя из (5) и учитывая (3) и (4a), получим:

$$[1 - e^{-at_1}(1 + at_1)] = \eta [e^{-at_1}(a - at_1 - 1) + e^{-a}]. \quad (6)$$

После соответствующих преобразований получим:

$$\psi_0 + \psi_1 t_1 = e^{at_1}, \quad (7)$$

где

$$\psi_0 = \frac{1 - \eta + a\eta}{1 - \eta e^{-a}}, \quad \psi_1 = \frac{(1 - \eta)a}{1 - \eta e^{-a}}.$$

Уравнение (7) легко решается графически, как показано на рис. 2. Для этого строится кривая  $e^{at}$  и прямая  $\psi_0 + \psi_1 t_1$ . Их пересечение дает величину  $t_1$ , которая определяет предел использования пиковой станции и мощность базиса.

В рассматриваемом случае требуемая мощность турбин НГЭС определяется выражением

$$N_t = N_{max} (1 - e^{-at_1}), \quad (8)$$

а мощность насосов

$$N_u = N_{max} (e^{-at_1} - e^{-a}). \quad (9)$$

Требуемая емкость водохранилища для аккумулярования определяется из уравнения

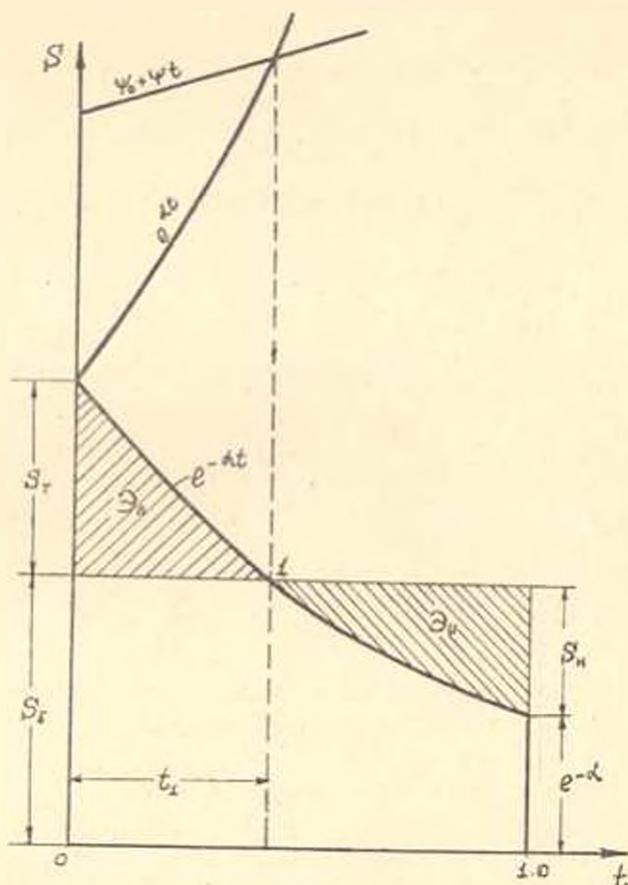


Рис. 2.

$$V_{\text{max}} = k \frac{367}{\eta H} N_T T, \quad (10)$$

где  $\eta$ ,  $H$  и  $N_T$  соответственно к.п.д., напор и мощность турбинной установки;  $T$  — число часов использования максимальной мощности;  $k > 1$  — коэффициент, учитывающий потери стока в водохранилище.

### Второй случай (базисная мощность переменная)

Предположим, что базисная мощность в течение рассматриваемого периода изменяется по закону:

$$S_b = S_{cp} + \frac{\Delta s}{2} \cos \pi t, \quad (11)$$

где

$$S_{cp} = \frac{S_1 + S_2}{2}; \quad \Delta s = S_1 - S_2;$$

$S_1$  и  $S_2$  — максимальное и минимальное значение мощности (рис. 3).

Для точки пересечения графика нагрузки системы с графиком мощности базисной установки получим

$$e^{-\alpha t_1} = \frac{S_1 + S_2}{2} + \frac{S_1 - S_2}{2} \cos \pi t_1 = S_{cp} + \frac{\Delta S}{2} \cos \pi t_1. \quad (12)$$

Согласно рис. 3

$$\vartheta_n = \frac{1}{\alpha} \left( 1 - e^{-\alpha t_1} - \alpha S_{cp} t_1 - \frac{\alpha \Delta S}{2\pi} \sin \pi t_1 \right); \quad (13)$$

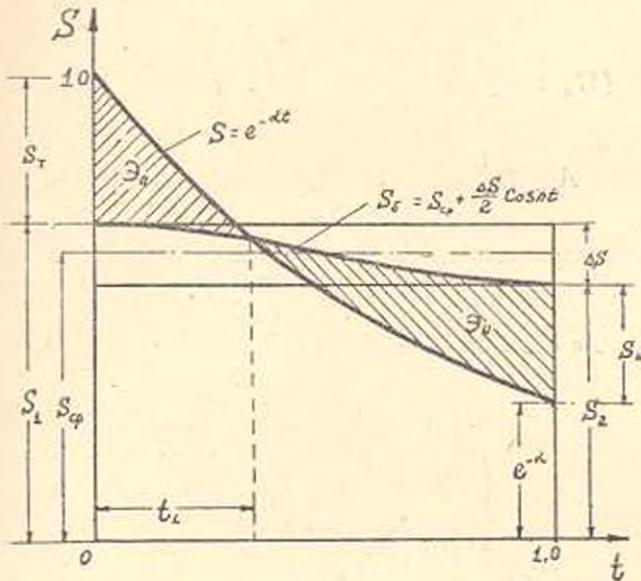


Рис. 3.

$$\vartheta_a = \frac{1}{\alpha} \left( \alpha S_{cp} - \alpha S_{cp} t_1 + e^{-\alpha} - e^{-\alpha t_1} - \frac{\alpha \Delta S}{2\pi} \sin \pi t_1 \right). \quad (14)$$

Исходя из (5) с учетом (13) и (14), получим:

$$1 - e^{-\alpha t_1} - \alpha S_{cp} t_1 - \frac{\alpha \Delta S}{2\pi} \sin \pi t_1 = \eta (\alpha S_{cp} - \alpha S_{cp} t_1 + e^{-\alpha} - e^{-\alpha t_1} - \frac{\alpha \Delta S}{2\pi} \sin \pi t_1). \quad (15)$$

Откуда

$$\frac{1 - \eta \alpha S_{cp} - \eta e^{-\alpha}}{1 - \eta} = e^{-\alpha t_1} + \alpha S_{cp} t_1 + \frac{\alpha \Delta S}{2\pi} \sin \pi t_1. \quad (16)$$

Имея в виду, что  $\frac{\Delta S}{2} = S_1 - S_{cp}$ ,  $S_1 = \frac{S_{cp}}{m_1}$  и подставив значение  $e^{-\alpha t_1}$  из равенства (12) в (16), получим значение средней мощности базисной станции:

$$S_{cp} = \frac{C}{A + B \left[ \alpha t_1 + a \left( \frac{\alpha}{\pi} \sin \pi t_1 + \cos \pi t_1 \right) \right]}, \quad (17)$$

где

$$A = 1 + \alpha \eta - \eta;$$

$$B = 1 - \eta;$$

$$C = 1 - \gamma e^{-a};$$

$$a = \frac{1}{m_2} - 1;$$

$m_2 < 1$  — коэффициент нагрузки по базисной части. Так как по (12)

$$S_{\text{ср}} = \frac{e^{-at_1}}{1 + a \cos \pi t_1} \quad (18)$$

то выражение (17) получит вид

$$e^{-at_1} = \frac{C(1 + \cos \pi t_1)}{A + B \left[ at_1 + a \left( \frac{a}{\pi} \sin \pi t_1 + \cos \pi t_1 \right) \right]} \quad (19)$$

Последнее выражение решается относительно  $t_1$  методом подбора или графическим путем. Зная величину  $t_1$ , можно определить величины  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $\Delta S$ ,  $\Delta u$ , используя выражения  $S_1 = \frac{S_{\text{ср}}}{m_2}$ ,  $S_2 = 2S_{\text{ср}} - S_1$ .

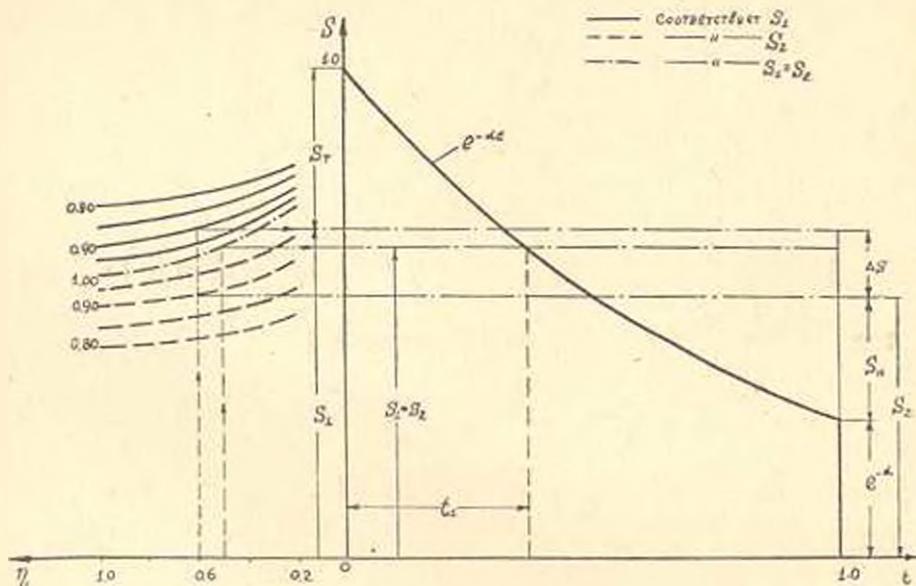


Рис. 4.

и равенства (13), (14), а также турбинную и насосную мощности НГЭС:

$$N_t = N_{\text{max}} (1 - S_1); \quad (20)$$

$$N_n = N_{\text{max}} (S_2 - e^{-a}). \quad (21)$$

В случае, когда  $m_2 = 1$ ,  $a = 0$  уравнение (19) преобразуется в уравнение вида (7). Для различных значений  $m_2$  при факторе нагрузки 0,57 построены кривые, позволяющие для заданного значения  $\gamma$  определить  $S_1$  и  $S_2$  (рис. 4).

**Пример**

Даны: Число часов использования максимальной нагрузки  $t = 5000$  ч ( $m = 0,57$ );  $\eta = 0,7$ ;  $m_1 = 0,9$ ;  $\alpha = 1,25 e^{-\alpha} = 0,287$ .

По выражению (19), строя кривые  $e^{-\alpha t}$  и  $\psi(t)$ , находим  $t_1$  (рис. 5). В рассматриваемом примере

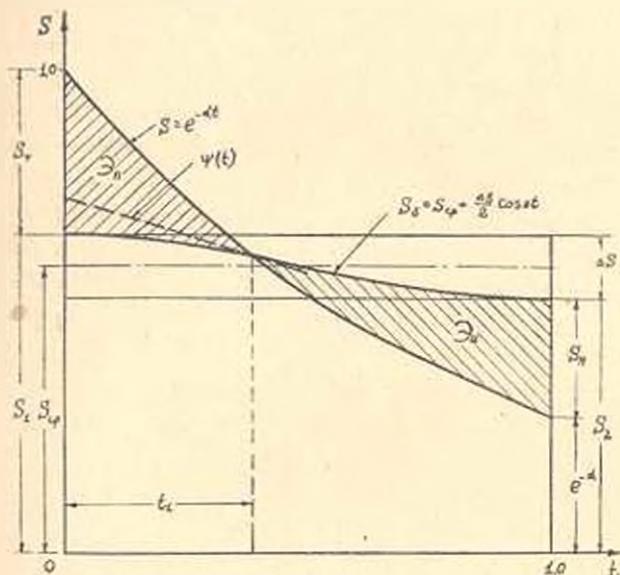


Рис. 5.

$$\psi(t) = \frac{C(1 + a \cos \pi t)}{A + B \left[ \alpha t + a \left( \frac{a}{\pi} \sin \pi t + \cos \pi t \right) \right]}$$

Определяем

$$S_{cp} = 0,595; S_3 = 0,661; S_2 = 0,529.$$

После вычисления значений  $S_1$  и  $S_2$ , находим

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_n &= 0,0564; & \mathcal{E}_u &= 0,081; \\ N_7 &= 0,339 N_{max}; & N_u &= 0,242 N_{max} \end{aligned}$$

и строим кривую  $S_{cp} + \frac{\Delta S}{2} \cos \pi t$  (рис. 5).

Ереванский ПИ им. К. Маркса

Поступило 25.XII 1962 г.

Б. Э. ИԱՅԱՐՈՎ, Ն. Ա. ԲՈՒՌՆԱԶՅԱՆ

ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՍՈՍՏԵՄՈՒՄ ԱՇԽԱՏՈՂ ՊՈՄՊԱ-ԿԱՆՈՆԱՎՈՐԻՉ ԶԻԿՐՈՒՆԿԵՏՐԱՅԱՆ ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՌՐՈՇՈՒՄԸ

Ա մ փ ո փ ո ս մ

Հոդվածում բերվում է էներգետիկական սխեմանում աշխատող պոմպ-կանոնավորիչ հիդրոկամանի էներգետիկական պարամետրերի հաշվման եղանակը: Խնդրի լուծման համար բևտի դրամֆիլի տեղդուխյան կորին տրված է (1)

յանաձևի տեսքը: Իրտարկվում են պոմպա-կանոնավորիչ հիդրո-էլեկտրակա-  
յանի էներգետիկական պարամետրերի որոշման երկու զեպք՝ կախված բազի-  
սային հզորությունների բնույթից. առաջին՝ երբ բազիսային հզորությունները  
ժամանակի ընթացքում մնում են հաստատուն, և երկրորդ՝ երբ բազիսային  
հզորությունները ժամանակի ընթացքում փոփոխվում են որոշակի սահման-  
ներում:

Կուտակման էներգիան  $\Theta_u$  հավասարեցվում է դաստակման  $\Theta_n$  էներ-  
գիային, հաշվի առնելով պոմպա-կանոնավորիչ հիդրոէլեկտրակայանի ընդհա-  
նուր օպտակար զործողություն  $\gamma$  դործակիցը (բանաձև (5)): Կուտակված էներ-  
գիայի անտեսական օդտազործման սահմանը որոշվում է (7) (19) բանաձևե-  
րով 1-ին և 2-րդ դեպքերին համապատասխան: Այդ հավասարումները բաժնւմ  
են աստիճանական մոտեցման, կամ գրաֆիկական եղանակով: Պոմպա-կանո-  
նավորիչ հիդրոէլեկտրակայանի էներգետիկական պարամետրերը (պոմպի և  
տուրբինային հզորությունները և այլն), որոշվում են (8), (9), (20), (21) բա-  
նաձևերով: Բևսի գրաֆիկի հաստատուն  $m = 0,57$  դործոնի համար կառուցված  
են կորեր (նկար 4) բևսի գրաֆիկի բազիսային մասի  $m$ , դործոնի տարրեր  
արժեքների համար:

Հոգվածի վերջում լուծված է կոնկրետ օրինակ: