

УДК 338.45:621.31(470.22)

ХАРАКТЕРИСТИКИ И СВОЙСТВА ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ И МОЩНОСТИ НА ПЕРЕДЕЛАХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ХОЗЯЙСТВА РЕГИОНА

Г. А. Борисов, Т. П. Тихомирова

*Институт прикладных математических исследований
Карельского научного центра РАН*

Описаны функции потерь мощности технологических переделов от их нагрузки и рекурсивные зависимости потерь мощности и энергии на линеаризованной последовательности переделов топливно-энергетического хозяйства региона.

К л ю ч е в ы е с л о в а: потери мощности, технологические переделы, системные связи.

G. A. Borisov, T. P. Tikhomirova. CHARACTERISTICS AND PROPERTIES OF ENERGY AND POWER LOSSES AT STEP TRANSITIONS IN THE ENERGY FACILITIES OF THE REGION

Functions of power losses at process step transitions relative to their load, and recursive relations of power and energy losses on the linearized sequence of step transitions in the region's fuel-and-energy facilities are described.

K e y w o r d s: power losses, process step transitions, system connections.

Сегодня энергоемкость ВВП России превышает среднемировой уровень в 4,5 раза, а показатели США и ЕС – почти десятикратно [Макаров, Мелентьев, 2009]. Поставленная Энергетической стратегией России задача обеспечения роста электропотребления, снижения негативного воздействия на окружающую среду при сохранении главенствующей роли органического ископаемого топлива может быть решена только при значительном сокращении потерь энергии. Поэтому снижение энергоемкости экономики и основной ее составляющей – потерь – является главным приоритетом Энергетической стратегии России [Фортов, Фаворский, 2006].

На технологических переделах топливно-энергетического хозяйства страны теряется 84–86 % используемой первичной энергии, а в Карелии – не менее 76 % [Мелентьев, Штейнгауз,

1959; Борисов, 2006; Борисов, Тихомирова, 2009]. Большинство современных проблем топливно-энергетического хозяйства, таких как:

- низкая надежность, качество и эффективность энергоснабжения;
- дефицит инвестиций и мощностей;
- негативное воздействие на окружающую среду;
- высокая стоимость энергообеспечения социальной и производственной сферы обусловлены преимущественно не объемами полезно используемых конечных видов энергии, а потерями ее.

Поскольку электроэнергетическое хозяйство является сложной системой с многочисленными и разнообразными связями, то детальное изучение этих связей с целью повышения энергетической эффективности системы экспериментально практически исключено. Ввиду этого становится необходимым создание математических моделей,

описывающих все разнообразие и сложное взаимодействие потерь мощности и энергии всех или хотя бы основных составляющих сложного топливно-энергетического хозяйства, в качестве которых по степени однородности, информационной обеспеченности, специфичности технологических процессов преобразования энергии и существующей организационной административной структуре следует выбрать технологические переделы его. Статья посвящена описанию количественных характеристик потерь (или технологических расходов) на отдельных технологических переделах регионального топливно-энергетического хозяйства, а также системных взаимосвязей в нем. Потери рассматриваются на примере топливно-энергетического хозяйства Карелии.

Для адекватного отображения свойств технологических переделов с целью построения математической модели системы, которую они образуют, не подходят известные математические модели для планирования ТЭКа [Баринов, Совалов, 1990], основанные на использовании на каждом переделе усредненных нормативных удельных расходов первичной энергии и, соответственно, удельных затрат на получение единицы вторичной энергии. Принятый в экономике энергетики период фиксирования нормативных удельных расходов на переделах равен одному году. Такой большой период измерений сглаживает все изменения их в течение года, какими бы большими они ни были. Это приводит к невозможности учесть изменчивость потерь в зависимости от режимов работы, влияния смежных переделов на их уровень.

В связи со сказанным модели переделов должны в целом описывать мгновенные значения потерь мощности в каждом из них и расхода на собственные нужды в зависимости от величины нагрузки и других сильно влияющих на потери параметров. На технологическом уровне электроэнергетического хозяйства с его быстро протекающими безинерционными процессами, всегда сбалансированными по генерации и потреблению мощности в нормальном режиме, принят период фиксации технологических параметров, в том числе и мощности, равный одному часу. Детализация описания должна доходить до каждого технологического передела. Ввиду этого для построения математической модели энергетического хозяйства необходимы модели его элементов-переделов, характеризующие зависимости на них потерь мощности.

Основные функции технологических переделов заключаются в изменении (преобразовании) вида или параметров энергии, сопровождающих-

ся в той или иной степени потерями энергии и мощности. Потери мощности и расходы на собственные нужды (далее потери) возникают вследствие различных физических явлений. Ввиду этого решение нашей основной задачи – количественно определить их величину в зависимости от протекания множества различных физических процессов, параметры которых многочисленны и часто неизвестны, становится таким способом невозможным. Более предпочтителен путь, когда величина потерь мощности определяется в зависимости от основного энергетического параметра – мощности. Этот путь является основным и в сложившейся практике оперативно-диспетчерского и технологического управления [Баринов, Совалов, 1990], когда требуется оценить энергетическую эффективность различных элементов энергетического хозяйства. Для этого можно использовать две характеристики – расходную характеристику передела и зависимость потерь мощности от нагрузки передела.

Рассмотрим расходную характеристику i -го передела топливно-энергетического хозяйства. Он представляет собой нелинейную функцию мощности P_{i-1} , поступающей на элемент системы от его выходной мощности P_i , т. е. $P_{i-1} = f(P_i)$. Функция во всем диапазоне допустимого изменения нагрузки является дифференцируемой, выпуклой, монотонно возрастающей, что позволяет находить минимальные значения суммы подобных функций.

Ввиду отсутствия идеальных элементов и обязательного наличия потерь всегда

$$P_{i-1} > P_i, \quad (1)$$

$$P_{i-1} = P_i + \Delta P_i, \quad (2)$$

где ΔP_i – потери мощности в i -м элементе системы.

Потери ΔP_i могут быть разделены на две составляющие – постоянную и переменную, зависящую от величины выходной мощности (нагрузки) передела P_i . Постоянная составляющая образуется так называемыми потерями холостого хода ΔP_{0i} , идущими у электромашин на различные виды трения, у электрических аппаратов переменного тока на потери мощности холостого хода, обусловленные вихревыми токами магнитопроводов, у линий электропередач высокого напряжения переменного тока – тлеющим разрядом проводов.

Переменная составляющая потерь мощности обычно представляется нелинейной функцией с положительной второй производной, характеризующей увеличенное возрастание потерь в сравнении с ростом нагрузки, характерное в электрических, гидродинамических и гидравлических агрегатах. В

электрических машинах, аппаратах и проводах это потери «в меди» (ΔP_m), изменяющиеся квадратично относительно нагрузки. Также квадратично относительно нагрузки (подачи) изменяются газо- и гидродинамические потери в трубопроводах. В сложных газо-, паро- и гидроустановках расходные характеристики имеют степенную зависимость от 3-й до 6-й степени [Шичков, 2006].

Можно утверждать, что положительность второй производной функции потерь в элементе от нагрузки является общим свойством всех переделов, так при отрицательной второй производной расходная характеристика кривая АВ пересечет линию $P_{i-1} = P_i$ и тогда количество отводимой энергии будет больше подводимой (рис. 1), а к.п.д. превысит 100 %.

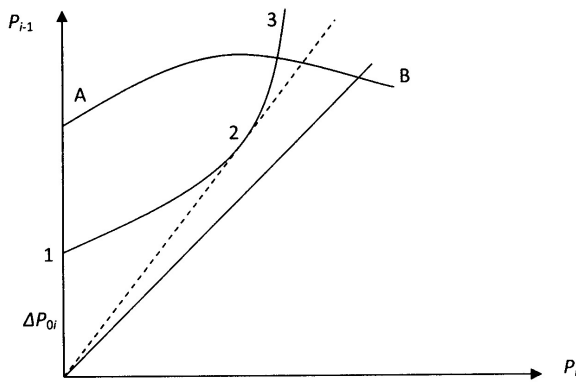


Рис. 1. Расходная характеристика передела

В крайнем случае этот вид потерь (ΔP_m) может быть принят линейным относительно нагрузки P_i , если нелинейные свойства слабо выражены.

В общем виде расходная характеристика i -го передела может быть описана с достаточной степенью точности полиномом m -й степени с положительной второй производной и постоянной составляющей:

$$P_{i-1} = \Delta P a_{0,i} + a_{1,i} \cdot P_i + a_{2,i} \cdot P_i^2 + \dots + a_{m,i} \cdot P_i^m \quad (3)$$

Степени полинома для различных переделов приведены далее в формулах (4) – (14).

У такой характеристики две особые точки (см. рис. 1). В точке 1 при $P_i=0$ у i -го передела при нулевой нагрузке имеются потери холостого хода ΔP_{0i} . В точке 2, образованной касательной из начала координат к расходной характеристике – самый высокий к.п.д.

Общий вид (1–2–3) расходной характеристики подходит для адекватного представления расходных характеристик различных переделов

в соответствии с имеющимися представлениями [Борисов, Тихомирова, 2009]. Рассмотрим их конкретные формы на различных переделах с выделением составляющей на потери и собственные нужды для структуры переделов, характерных для топливно-энергетического хозяйства Республики Карелия.

Потребляемая мощность при добыче ископаемых топлив характеризуется зависимостью:

$$P_0 = (1 + a_{01}) \cdot P_1, \quad (4)$$

где расход на собственные нужды и потери $\Delta P = a_{01} \cdot P_1$,

a_{01} – доля расхода на собственные нужды от выдаваемой мощности.

При транспортировке твердых топлив

$$P_1 = (1 + a_{02} + a_{12} \cdot l_2) \cdot P_2,$$

$$\Delta P_1 = a_{02} \cdot P_2 + a_{12} \cdot l_2 \cdot P_2, \quad (5)$$

где a_{02} – доля расхода на собственные нужды, связанные с погрузкой и хранением его;

a_{12} – удельные расходы топлива на транспорт [Эксергические расчеты..., 1991];

l_2 – расстояние транспортировки.

При транспортировке жидкого и газообразного топлива [Селезнев и др., 2007]

$$P'_1 = P'_2 + \Delta P'_2,$$

$$\Delta P'_2 = \Delta P_{nc} + \Delta P_{тр} = a'_{02} + a'_{12} P_3 + a'_{22} P_2^2 + a'_{32} P_2^3, \quad (6)$$

где P_{nc} – потери мощности на перекачивающей (насосной или газокompрессорной) станции,

$$P_{nc} = a'_{02} + a'_{12} P_3 + a'_{32} P_2^3, \quad (7)$$

$P_{тр}$ – потери мощности в трубопроводе [Селезнев и др., 2007],

$$P_{тр} = a'_{22} P_2^2, \quad (8)$$

a'_{22} – гидравлическое или аэродинамическое сопротивление трубопровода.

Потребляемая мощность и ее потери в агрегатах тепловых и гидравлических станций [Мелентьев, Штейнгауз, 1959]

$$P_2 = P_3 + \Delta P_3;$$

$$\Delta P_3 = a_{03} + a_{13} P_3 + a_{23} P_3^2 + a_{33} P_3^3. \quad (9)$$

Потребляемая мощность и ее потери в линиях электропередач и трансформаторах электрических сетей

$$P_3 = P_4 + \Delta P_4,$$

$$\Delta P_4 = (a_{04} + a_{24} P_4) P_4, \quad (10)$$

где $a_{04} P_4$ – потери мощности в «стали»;

$a_{24} P_4^2$ – потери мощности в «меди».

Потребляемая мощность и ее потери при преобразовании электроэнергии в световую энергию

$$P_4 = P_5 + \Delta P_5, \quad (11)$$

$$\Delta P_5 = P_5 (1 - \eta), \quad (12)$$

где η – к.п.д. источника света.

При преобразовании электроэнергии в механическую без регулирования частоты, напряжения потребляемая мощность и потери ее

$$P'_4 = P'_5 + \Delta P'_5,$$

$$\Delta P'_5 = P'_0 + M_{\text{сопр}} \cdot \omega, \quad (13)$$

где $\omega = 2\pi f$ – круговая частота;

P'_0 – потери холостого хода;

$M_{\text{сопр}}$ – момент сопротивления на валу рабочего механизма.

Потребляемая мощность и ее потери при преобразовании электроэнергии в механическую с регулированием частоты [Шичков, 2006]

$$P''_4 = P''_5 + \Delta P''_5,$$

$$\Delta P''_5 = a''_{05} + a''_{15}P_5 + a''_{23}P_5^2 + a_{35}P_5^3 + a_{45}P_5^4 + a_{55}P_5^5 + a_{65}P_5^6 \quad (14)$$

Наличие в полиномах расходных характеристик или в характеристиках потерь членов второй степени и выше приводит к увеличению составляющей потерь энергии на переделе, зависящей от неравномерности графика нагрузки, характеризующейся в электрических сетях увеличением коэффициента формы графика (суточного, годового) [Красновский, 1988]. При увеличении показателя степени и коэффициента члена полинома характеристики потерь влияние неравномерности графиков нагрузки возрастает.

Это свойство – влияние неравномерности графика нагрузки на рост величины потерь, квадратных относительно нагрузки, выявлено только у переменной части потерь в электрических сетях, чему посвящено несколько десятков работ, проанализированных в работе [Арутюнян, 2007].

Согласно одной из этих работ [Красновский, 1988], можно оценить меру влияния неравномерности графика нагрузки на технологический расход энергии в линиях электропередачи по графикам, показывающим, во сколько раз при неравномерном графике они больше при передаче той же энергии по равномерным графикам.

В нашей работе [Борисов, 1965] было показано, что и незначительные по величине случайные колебания нагрузки на гидро- и турбоагрегатах, вызванные колебаниями частоты системы и работой регуляторов мощности агрегатов, так-

же приводят к увеличению потерь мощности и увеличенному потреблению топлива на электростанциях.

Значит, имея в виду нелинейность характеристик потерь и неравномерность графиков нагрузок в системах энергоснабжения, можно с уверенностью полагать, что на каждом технологическом переделе с нелинейными расходными характеристиками происходит рост потерь энергии, вызванный временной неравномерностью нагрузок, который не учитывается при использовании нормативных усредненных показателей расходуемой энергии переделов.

Рассмотрим теперь последовательность технологических переделов.

В работах отечественных ученых [Баринов, Совалов, 1990] был предложен, обоснован и использован ряд приемов, упрощающих модели энергетических систем, построенных применительно к решению различных инженерных задач на основе пренебрежения (по сравнению с полной моделью) теми или иными факторами, оказывающими несущественное влияние на исследуемые параметры. Другой важной составляющей упрощающих модель приемов является энергетическое эквивалентирование. Построение эквивалентированных энергетических характеристик основывается на методах оптимизации режима эквивалентированной части электроэнергетической системы, которые получаются в результате наивыгоднейшего распределения нагрузок между агрегатами и электростанциями этой части энергосистемы, а также эквивалентные характеристики электрической сети, представляющие собой линеаризованную зависимость потерь сети от активных мощностей электростанций и потребляемых нагрузок.

Пределом упрощающих и эквивалентированных процедур при моделировании топливно-энергетического хозяйства для исследования потерь энергии может быть обобщенная линеаризованная модель системы, оценки потерь энергии в различных технологических переделах приведены в работах [Борисов, 2006; Макаров, Мелентьев, 1973]. Очевидно, что использование для исследования свойств потерь в целях дальнейшего их снижения в качестве объекта региона представляется более доступным по получению информации и объемам вычислений и в то же время представительным по полноте описания связей между переделами.

Представим топливно-энергетическое хозяйство региона (рис. 2) в виде линейной последовательности переделов, как это выпол-

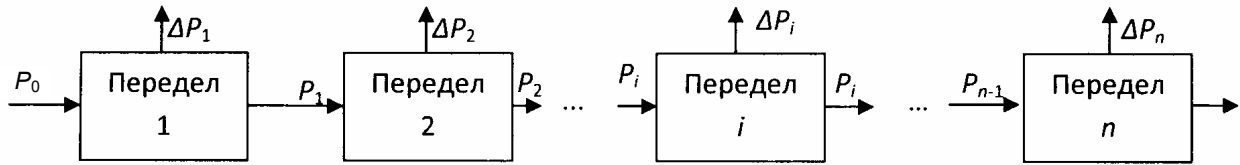


Рис. 2. Линейная последовательность переделов топливно-энергетического хозяйства

нено в работах [Борисов, 2006; Борисов, Ти-
хомирова, 2009].

Рассмотрим потоки мощности на линейной
последовательности переделов топливно-энер-
гетического хозяйства. Исходя из баланса мощ-
ности, потребляемая мощность источника пер-
вичной энергии

$$P_0 = P_n + \sum_{j=1}^n \Delta P_j. \quad (15)$$

Потребляемая на i -м переделе мощность P_{i-1}
составит

$$P_{i-1} = P_n + \Delta P_n + \Delta P_{n-1} + \dots + \Delta P_i, \quad (16)$$

$$i = 0, 1, \dots, n-1,$$

$$\text{тогда } P_i = P_n + \sum_{j=i+1}^n \Delta P_j, \quad (17)$$

$$i = 0, 1, \dots, n-1.$$

Причем надо иметь в виду, что выходная
мощность на каждом переделе является вложен-
ной функцией от выходной мощности после-
дующего:

$$\begin{aligned} P_{n-1} &= P_n + \Delta P_n(P_n), \\ P_{n-2} &= P_{n-1} + \Delta P_{n-1} = \\ &= P_n + \Delta P_n(P_n) + \Delta P_{n-1}(P_{n-1}), \\ P_i &= P_n + \Delta P_n + \dots + \Delta P_{i+1} = \\ &= P_n + \Delta P_n(P_n) + \dots + \Delta P_{i+1}(P_{i+1}) \end{aligned} \quad (18)$$

Линейная последовательность технологи-
ческих переделов является обратной рекуррентной
последовательностью, когда нагрузка каждого
передела зависит от суммы нагрузки и потерь
последующего.

Потребность в энергии i -го передела полу-
чается интегрированием уравнения (17):

$$W_i = \int_0^T P_i dt = \int_0^T P_n dt + \sum_{j=i+1}^n \int_0^T \Delta P_j dt. \quad (19)$$

В практике управления используется ежечас-
ное фиксирование нагрузок по мощности в пре-
делах одного года. Тогда

$$W_i = \Delta t \cdot \sum_{k=1}^{8760} P_{nk} + \Delta t \cdot \sum_{j=i+1}^n \sum_{k=1}^{8760} \Delta P_{jk}, \quad (20)$$

где P_{nk} – конечная мощность n -го передела в k -й
час года;

ΔP_{jk} – потери мощности передела в k -й час года;
 Δt – промежуток времени, равный часу.

Коммерческий учет фиксирует в точках
раздела ответственности собственников пока-
зания счетчиков энергии, по которым опреде-
ляются ежегодное получение и отпуск энер-
гии по линиям электропередачи, газо- и неф-
тепроводам.

Формула (20), определяющая количество
энергии на выходе i -го передела, одновременно
определяет объем годовых продаж энергии i -го
передела и объем годовых закупок энергоноси-
телей $i+1$ передела.

При существующем государственном регу-
лировании тарифов на многие энергоносители
их изменение происходит не чаще одного раза в
год. В пределах этого периода при неизменном
тарифе τ_{i-1} затраты на покупку энергоносителя
(топливная составляющая себестоимости элек-
тростанций, котельных) на i -м переделе

$$\begin{aligned} U_i &= \tau_{i-1} \cdot W_{i-1} = \\ &= \tau_{i-1} \cdot \Delta t \cdot \left(\sum_{k=1}^{8760} P_{nk} + \sum_{j=i+1}^n \sum_{k=1}^{8760} \Delta P_{jk} \right) \end{aligned} \quad (21)$$

Выручка i -го передела от продажи его энер-
гии составит при тарифе τ_i

$$\begin{aligned} B_i &= \tau_i \cdot W_i = \\ &= \tau_i \cdot \Delta t \cdot \left(\sum_{k=1}^{8760} P_{nk} + \sum_{j=i+1}^n \sum_{k=1}^{8760} \Delta P_{jk} \right) \end{aligned} \quad (22)$$

Прибыль i -го передела [Клер и др., 2001]

$$\Pi_i = (B_i - U_i - Z_i - K_i \cdot (a^a + a^n)) \cdot (1 - a^n), \quad (23)$$

где Z_i – годовой фонд заработной платы на i -м
переделе;

K_i – суммарные капиталовложения;

a^a – доля годовых амортизационных отчислений
от капиталовложений;

a^n – доля постоянной части годовых эксплуата-
ционных издержек;

a^{nn} – доля налога на прибыль.

С учетом формул (21) и (22)

$$\begin{aligned} P_i &= (\tau_i \cdot W_i - \tau_{i-1} \cdot W_{i-1} - Z_i - \\ &\quad - K_i \cdot (a^a + a^n)) \cdot (1 - a^{nn}) = \\ &= ((\tau_i - \tau_{i-1})(W_n + \sum_{j=i+1}^n \Delta W_j) - \\ &\quad - \Delta W_i \cdot \tau_{i-1} - Z_i - K_i \cdot (a^a + a^n)) \cdot \\ &\quad \cdot (1 - a^{nn}) \end{aligned} \quad (24)$$

Существенно различаются по функциям, техническим и финансово-экономическим показателям два состояния системы.

Если в первом бездефицитном состоянии ее конечная мощность P_n меньше располагаемой, т. е. $P_{расп\ n} < P_n$, то имеется резервная $P_{рез\ n} = P_{расп\ n} - P_n$.

При появлении дополнительной потребности в конечной мощности y_n , меньшей или равной резервной ($y_n \leq P_{рез\ n}$), потребуются лишь увеличение текущих значений мощности и издержек на всех предшествующих переделах, которые приведут к увеличению издержек конечного пользователя на величину $I_n = y_n \cdot \tau_n \cdot T_n$, где τ_n – тариф на конечный вид энергии; T_n – время использования дополнительной мощности. Если система находится во втором состоянии, то резерва располагаемой мощности нет $P_{рез\ n} = P_{расп\ n} - P_n = 0$.

При исчерпании резерва системы обеспечение дополнительной потребности может происходить по двум вариантам.

При традиционном варианте системы для обеспечения дополнительной потребности необходим на последнем переделе ввод дополнительной мощности y_n . На промежуточных i -х переделах ввод мощности составит: $y_i = P_{i-1}(P_i + y_i) - P_{i-1}(P_i)$. Для ввода дополнительных мощностей в системе потребуются инвестиции:

$$K_1(y_n) = k_n y_n + k_{n-1} y_{n-1} + \dots + k_i y_i + \dots + k_1 y_1, \quad (25)$$

где k_i – удельные капиталовложения на единицу установленной мощности и далее

$$\begin{aligned} K_1 &= k_n y_n + k_{n-1} \cdot P_{n-1}(P_{n-2} + y_{n-2}) - \\ &\quad - P_{n-1}(P_{n-2}) + \dots \\ &\quad + k_i \cdot P_{i-1}(P_i + y_i) - \\ &\quad - P_{i-1}(P_i) + \dots \\ &\quad + k_i \cdot P_0(P_1 + y_1) - P_0(P_1). \end{aligned} \quad (26)$$

Считая, что вводится на i -м переделе дополнительно величина мощности y_i второго порядка малости, не изменяющая коэффициент полезного использования k_{mui} на каждом переделе, формулу (25) можно записать приближенно в виде:

$$\begin{aligned} K_1(y_n) &= k_n y_n + k_{n-1} \frac{y_n}{k_{nu(n-1)}} + \dots \\ &\quad + k_i \frac{y_n}{\prod_{i=n}^{i=i} k_{mui}} + \dots + k_1 \frac{\Delta y_n}{\prod_{i=1}^{i=n-1} k_{mui}} \end{aligned} \quad (27)$$

Кроме того, рост потребляемой на каждом переделе мощности потребует увеличения издержек системы на всех переделах, пропорциональных увеличению мощности каждого передела. Рост издержек при регулируемых тарифах будет происходить за счет роста мощности на первом и последующих переделах и составит по всей системе величину не меньше $I_1 = \tau_n \cdot y_n \cdot T_{исп\ n}$, где τ_n – стоимость конечной энергии; $T_{исп\ n}$ – число часов использования мощности последнего передела; y_n – дополнительная мощность.

При энергосберегающем варианте обеспечение дополнительной мощности y_n возможно за счет снижения потерь последнего передела на величину $-y_n$. Для реализации такого пути потребуются инвестиции на осуществление энергосберегающего мероприятия только на этом переделе $K_2(y_n) = K_n(|-y_n|)$, а издержки на всех переделах останутся неизменными.

В итоге первый вариант приращения мощностей потребует инвестиции на всех переделах и увеличения издержек $K_1(y_n)$ и I_1 . Второй вариант – инвестиций только на последнем переделе $K_2(y_n)$ и оставит неизменными издержки.

При $K_1(y_n) > K_2(y_n)$ и $I_1 > I_2$ ($I_2=0$) второй вариант абсолютно эффективен.

При условии $K_1(y_n) < K_2(y_n)$ и $I_1 > I_2$ требуется оценка их по чистому дисконтированному доходу:

$$ЧДД = K_2(y_n) - K_1(y_n) + \sum_{t=1}^{t=T} \frac{I_t}{(1+E)^t} \quad (28)$$

и срокам возврата кредитов, полученных на энергосберегающие мероприятия.

Выводы

1. Расходные характеристики переделов топливно-энергетического хозяйства или их потери являются непрерывными, выпуклыми, монотонно возрастающими функциями от нагрузки, хорошо аппроксимируемыми полиномами m -й степени.

2. Благодаря членам полинома второй и выше степени потери энергии на переделах зависят как от среднего значения мощности, так и ее неравномерности, поэтому оценки потерь необходимо проводить по мгновенным или текущим значениям мощности.

3. Линейная последовательность переделов не имеет интегральных звеньев в большей части передела и является рекуррентной последовательностью, когда нагрузка каждого передела зависит от нагрузки и потерь последующего, а в конце концов от потребителя конечного вида энергии.

4. Потери мощности и энергии в абсолютном значении растут от конечного потребителя к первичному источнику, затраты в относительном и абсолютном значении наоборот. Вследствие этого конечный покупатель оплачивает все потери на предшествующих переделах.

5. При снижении конечного энергопотребления снижается прибыль на всех предшествующих переделах производственной части топливно-энергетического хозяйства.

6. Ввиду удаленных взаимосвязей финансово-экономические оценки энергосберегающих мероприятий в условиях отсутствия в системе резервов резко повышают свою эффективность за счет инвестиций на ввод новых мощностей на начальных переделах.

7. Существующие в соответствии с Киотским протоколом оценки выбросов парниковых газов, сжигающих топливо, привязанные к переделам, не учитывают основную первопричину их появления – потери энергии, являющиеся первопричиной выбросов парниковых газов в топливно-энергетическом хозяйстве.

8. На линейной последовательности переделов рыночные механизмы получения максимума прибыли стимулируют максимальное энергопотребление.

Литература

Арутюнян А. А. Основы энергосбережения. М.: ЗАО «Энергосервис», 2007. 600 с.

Баринов В. А., Савалов С. А. Режимы энергосистем: Методы анализа и управления. М.: Мир, 1990. 440 с.

Борисов Г. А. Метод расчета оптимальных установок регуляторов скорости гидро- и турбоагрегатов // Электрические станции. 1965. № 5. С. 49–51.

Борисов Г. А. Анализ эффективности энергетического хозяйства (на примере Карелии) // Труды КарНЦ РАН. Петрозаводск, 2006. Вып. 9. С. 3–8.

Борисов Г. А., Тихомирова Т. П. Структурный анализ потерь энергии в электроэнергетическом хозяйстве Карелии // Ученые записки Петр ГУ. 2009. № 9(103). С. 93–97.

Клер А. М., Деканова Н. П., Санеев Б. Г. и др. Оптимизация развития и функционирования автономных энергетических систем. Новосибирск: Наука, 2001. 144 с.

Красновский А. З. Моделирование графиков электрических нагрузок // Электрические станции. 1988. № 10. С. 41–46.

Макаров А. А., Мелентьев Л. А. Методы исследования и оптимизации энергетического хозяйства. Новосибирск: Наука, 1973. 274 с.

Мелентьев Л. А., Штейнгауз Е. О. Экономика энергетики СССР. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1959. 396 с.

Селезнев В. Е., Алешин В. В., Прялов С. Н. Математическое моделирование трубопроводных сетей и систем каналов: методы, модели, и алгоритмы / ред. В. Е. Селезнева. М.: МАКС Пресс, 2007. 695 с.

Фортов В. Е., Фаворский О. Н. Состояние и основные проблемы энергетики России / Энергетика России: проблемы и перспективы: труды научной сессии РАН (Общее собрание РАН 19–21 декабря 2005 г.). М., 2006. С. 13–20.

Шичков Л. П. Электрический привод. М.: КолосС, 2006. 279 с.

Эксергические расчеты технических систем: справочное пособие. Киев: Наук. думка, 1991. 360 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Борисов Георгий Александрович,
старший научный сотрудник, к. т. н.
Институт прикладных математических исследований
Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: borisov@krc.karelia.ru
тел.: (8142)766312

Тихомирова Тамара Петровна,
ученый секретарь, к. т. н.,
Институт прикладных математических исследований
Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: tihomirov@krc.karelia.ru
тел.: (8142)766312

Borisov, George
Institute of Applied Mathematical Research, Karelian
Research Centre, Russian Academy of Science
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: borisov@krc.karelia.ru
tel.: (8142)766312

Tikhomirova, Tamara
Institute of Applied Mathematical Research, Karelian
Research Centre, Russian Academy of Science
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: tihomirov@krc.karelia.ru
tel.: (8142)766312