

К ВОПРОСУ ВЫБОРА СПОСОБА РЕГУЛИРОВАНИЯ ОТПУСКА ТЕПЛА В ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ

Е. Н. ШАДРИН

Количество тепла Q , необходимое для отопительных абонентов при произвольной наружной температуре t_n , равно

$$Q = \varphi \cdot Q', \quad (1)$$

где Q' — расчетное количество тепла, потребное для абонентов при расчетной наружной температуре t'_n и φ — относительная тепловая нагрузка. Величина ее определяется, как

$$\varphi = \frac{t_b - t_n}{t_b - t'_n} \quad (2)$$

Здесь t_b — температура внутри отапливаемых помещений.

Для подачи абонентам тепла Q , соответствующего произвольной наружной температуре t_n , производят регулирование отпуска тепла. В настоящее время в практике эксплуатации тепловых сетей нашли применение, в основном, три способа регулирования отпуска тепла: качественное, количественное и смешанное, представляющее собой комбинацию из качественного и количественного регулирования.

При качественном регулировании в зависимости от температуры t_n наружного воздуха изменяется температура t_{20p} горячей воды, идущей к тепловым абонентам. С повышением t_n t_{20p} уменьшается. Последнее дает возможность использовать для нагревания воды отъемный пар более низкого давления, что обуславливает большую выработку электрической энергии на тепловом потреблении.

При количественном регулировании t_{20p} остается неизменной в течение всего отопительного периода и равна расчетной температуре t'_{20p} . Изменение отпуска тепла при этом достигается за счет изменения количества теплоносителя. С повышением t_n количество теплоносителя G уменьшается. Уменьшение G требует меньшей затраты мощности на перекачку теплоносителя. Учитывая это, во многих тепловых сетях в целях экономии электроэнергии на перекачку воды применяют ступенчатый график регулирования.

По нашему мнению, при выборе того или иного способа регулирования отпуска тепла надо учитывать энергетическую эффективность способов. Для этого необходимо рассматривать совместную работу турбины и теплосети.

Мощность, вырабатываемая отъемным паром, выразится следующей формулой:

$$N_m = \frac{D_o \cdot h_o \cdot \eta_{оз}}{860} \text{ кВт}, \quad (3)$$

где: D_o — количество отъемного пара, кг/час;

h_o — располагаемое теплопадение до давления в отборе, ккал/кг;

$\eta_{оз}$ — относительный электрический к. п. д.

Выразив N_m через относительную тепловую нагрузку, получим:

$$N_m = \frac{\varphi \cdot Q' \cdot h_0 \cdot \eta_{0э}}{860(i_0 - t_k - h_0 \cdot \eta_{0i})} \text{ квт.} \quad (4)$$

Здесь i_0 —теплосодержание пара перед турбиной, *ккал/кг*;

t_k —температура конденсата отъемного пара, °С;

η_{0i} —относительный внутренний к. п. д. потока пара, идущего в отбор.

При качественном регулировании для заданного расчетного теплопотребления $N'_m = f(\varphi, h_0, Q', t_k)$

При количественном— h_0 и t_k остаются неизменными во всем диапазоне изменения t_H . Поэтому выработка на тепловом потреблении N''_m для количественного регулирования зависит только от φ и Q' .

Для нахождения h_0 и t_k надо определить давление в отборе для различных t_H . Давление в отборе $P_{об}$ определяем по температуре насыщения при этом давлении

$$t_s = t_{20p} + \Delta t, \quad (5)$$

где Δt —температурный напор в подогревателях в °С. Температура $t_{20p} = f(\varphi)$ и может быть определена совместным решением уравнения передачи тепла в отопительных приборах и уравнения транспорта тепла.

Из уравнения передачи тепла в отопительных приборах для произвольной t_H

$$\varphi = \frac{F \cdot K \cdot \Delta t_{cp}}{F \cdot K' \cdot \Delta t'_{cp}} \quad (6)$$

где: Δt_{cp} и $\Delta t'_{cp}$ —средние температурные напоры в приборах при t_H и t'_H , °С;

K и K' —коэффициенты теплопередачи при t_H и t'_H , $\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \text{час}^\circ \text{С}}$

F —поверхность отопительных приборов, м^2 .

Если учесть, что для отопительных приборов $K = C \cdot \Delta t_{cp}^x$, то уравнение (6) запишется, как

$$\varphi = \left(\frac{\Delta t_{cp}}{\Delta t'_{cp}} \right)^{1+x} \quad (7)$$

Обозначая среднюю температуру воздуха до и после отопительных приборов через $t_в$, получим для среднего температурного напора

$$\Delta t_{cp} = \frac{t_{20p} - t_{обp}}{2} - t_в \quad (8)$$

С другой стороны, из уравнений транспорта тепла для произвольной t_H для качественного регулирования

$$\varphi = \frac{t_{20p} - t_{обp}}{t'_{20p} - t'_{обp}} \quad (9)$$

Решая совместно уравнения 7, 8 и 9, получим для t_{20p}

$$t_{20p} = \varphi^{\frac{1}{1+x}} \cdot \Delta t'_{cp} + \frac{\varphi}{2} \Delta t'_c + t_в, \quad (10)$$

где $\Delta t'_c = t'_{20p} - t'_{обp}$ —расчетная разность температур теплоносителя. Следовательно,

$$t_s = \varphi^{\frac{1}{1+x}} \cdot \Delta t'_{cp} + \frac{\varphi}{2} \Delta t'_c + t_в + \Delta t \quad (11)$$

На рис. 1 по уравнению (11) изображена зависимость $t_s = f(t_n)$ для частного примера, когда $\Delta t = 5^\circ\text{C}$, $t'_{\text{зоп}} = 130^\circ\text{C}$, $t'_{\text{обп}} = 70^\circ\text{C}$, $t'_n = -40^\circ\text{C}$. На этом же рис. 1 показана зависимость $t_{\text{зоп}} = f(t_n)$, построенная по уравнению (10).

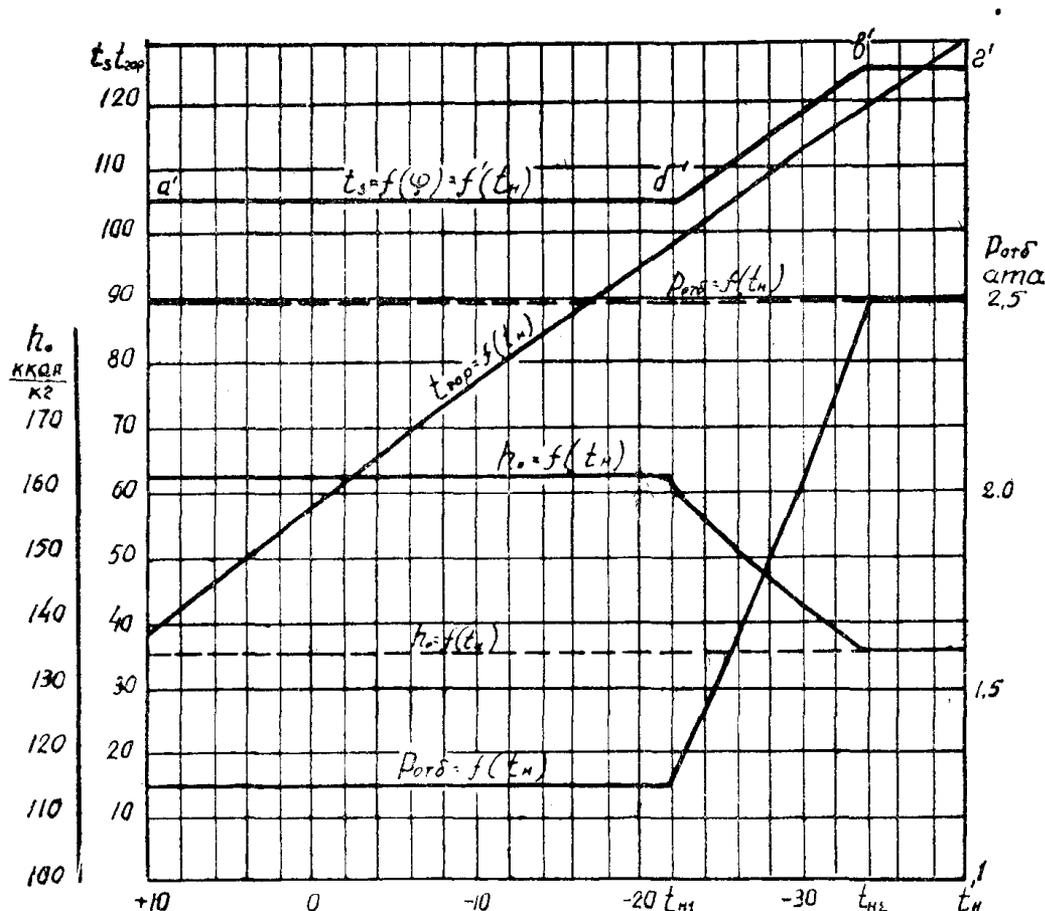


Рис. 1

В пределах от t_{n1} до t_{n2} температура t_s изменяется в зависимости от t_n в соответствии с уравнением (11). До t_{n1} $t_s = \text{const}$ и определяется минимальным давлением в отборе. В пределах от t_{n2} до t'_n температура t_s также не изменяется и соответствует температуре насыщения при максимальном давлении в отборе.

Для рассматриваемого примера принято изменение давления в отборе от 1,25 atma до 2,5 atma. Давлению в отборе 1,25 atma соответствует горизонтальный участок кривой $t_s = f(t_n)$ $a'b'$; максимальному давлению в отборе 2,5 atma соответствует участок кривой $b'z'$. Таким образом, располагаемый тепловой перепад до отбора, а также температура t_k будут изменяться при качественном регулировании лишь в пределах изменения температуры наружного воздуха от t_{n1} до t_{n2} .

По t_s определяем давление в отборе для каждой t_n и располагаемый тепловой перепад до отбора. На рис. 1 для ранее разобранного примера построены зависимости $P_{\text{отб}} = f(t_n)$ и $h_o = f(t_n)$ при качественном регулировании. При количественном регулировании как давление в отборе, так и тепловой перепад до отбора будут неизменными во всем интервале изменения температуры наружного воздуха t_n . На том же рис. 1 пунктиром показана зависимость $P_{\text{отб}} = f(t_n)$ и $h_o = f(t_n)$ для количественного регулирования для того же примера.

Пользуясь графиком рис. 1, по формулам (2) и (4) можно определить изменение мощности, вырабатываемой отъемным паром, для качественного и количественного регулирования в зависимости от t_H . Так как для количественного регулирования $h_0 = const$ и $t_k = const$, то зависимость N_m'' от t_H выражается законом прямой линии.

На рис. 2 дано графическое решение уравнения (4) для качественного и количественного регулирования при $Q' = 50 \frac{\text{мгкал}}{\text{час}}$. Из рис. 2 усматривается, что при всех наружных температурах $t_H > t_{ТЭЦ}$, где $t_{ТЭЦ}$ — расчетная температура ТЭЦ, $N_m' > N_m''$. На рис. 3 по кривым рис. 2 построена зависимость

$$\Delta N_m = N_m' - N_m'' \text{ от } t_H.$$

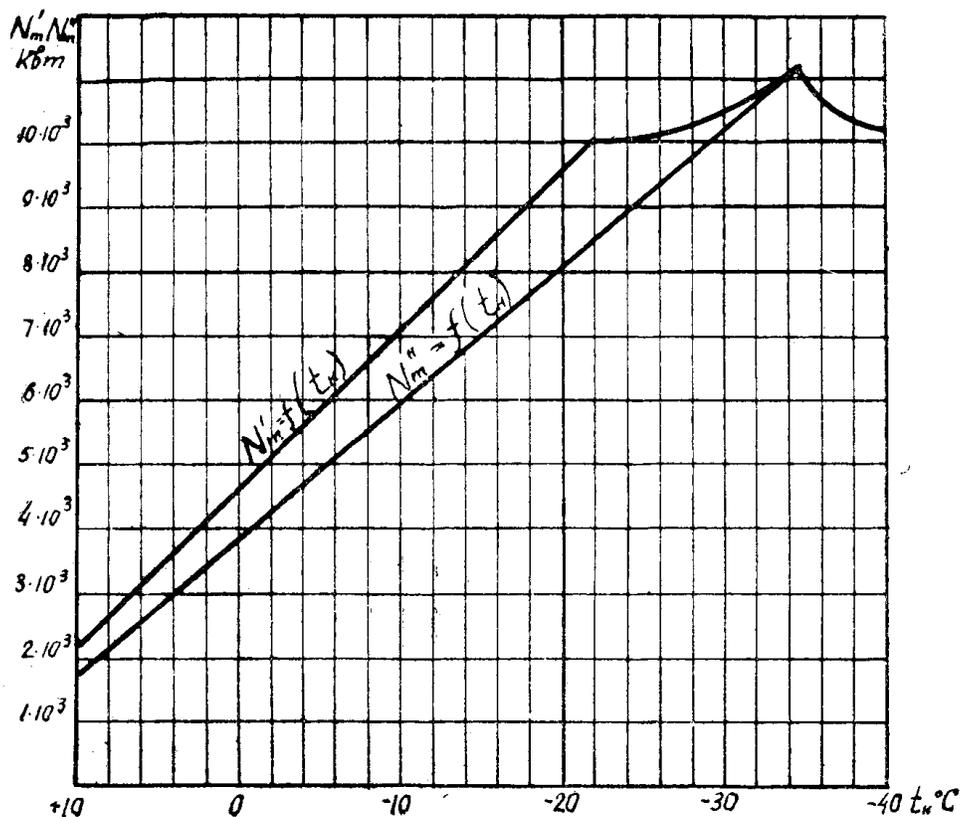


Рис. 2

Переходим к определению мощности, затрачиваемой на перекачку воды.

При качественном регулировании количество воды $G = const$, поэтому мощность в *квт* на перекачку теплоносителя

$$N_H' = \frac{S_0 G^{13}}{3,67 \cdot 10^5 \cdot \eta_H} \text{ квт.} \quad (12)$$

При количественном регулировании

$$N_H'' = \frac{S_0 \alpha^3 G^{13}}{3,67 \cdot 10^5 \cdot \eta_H} \text{ квт.} \quad (13)$$

Здесь: S_0 — приведенное сопротивление головного участка теплосети;
 G^{13} — расчетное количество теплоносителя, *кг/час*;
 η_H — к.п.д. сетевого насоса;

$\alpha = \frac{G}{G'}$ представляет собой отношение расхода воды при произвольной температуре t_H к расчетному количеству воды и может быть назван коэффициентом относительного расхода воды.

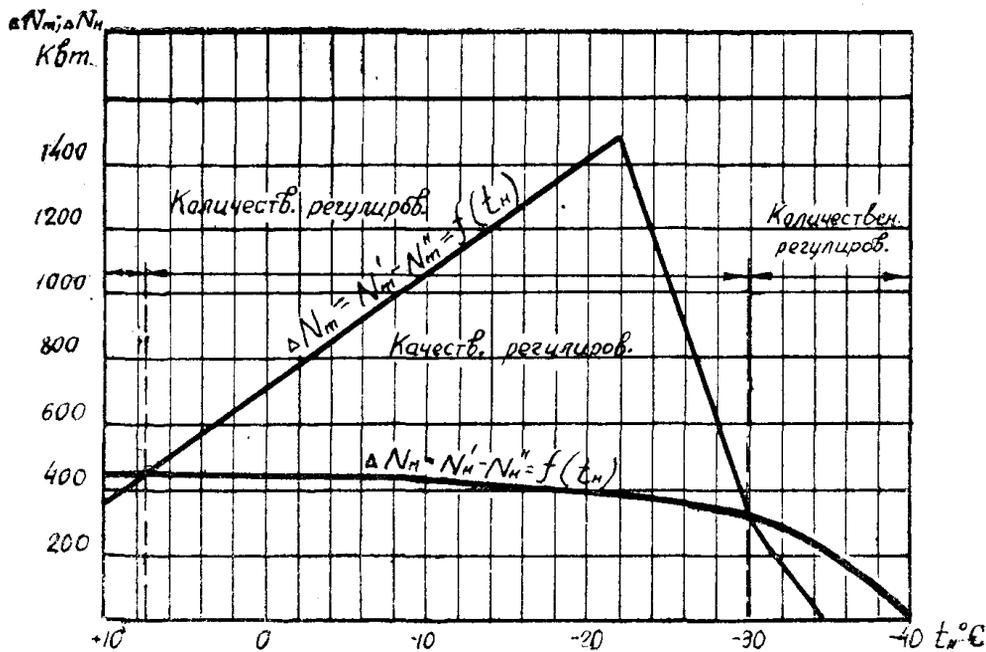


Рис. 3

Величина коэффициента α может быть определена из следующих соображений. Для количественного регулирования относительная тепловая нагрузка

$$\varphi = \frac{G(t_{2op} - t_{обp})}{G'(t'_{2op} - t'_{обp})} = \alpha \cdot \frac{t_{2op} - t_{обp}}{t'_{2op} - t'_{обp}} \quad (14)$$

Решая совместно уравнения (7), (8) и (14) и учитывая, что для количественного регулирования $t_{2op} = t'_{2op} = const$, получим для α :

$$\alpha = \frac{0,5 \varphi \cdot \Delta t'_c}{t'_{2op} - \varphi \frac{1}{1+x} \cdot \Delta t'_{cp} - t_в} \quad (15)$$

Из уравнения (15) видно, что $\alpha = f(\varphi) = f(t_H)$, поэтому и мощность насоса $N''_H = f(\varphi) = f(t_H)$.

Разность мощностей на перекачку воды при качественном и количественном регулировании составит

$$\Delta N_H = N'_H - N''_H = (1 - \alpha^3) \cdot \frac{S_0 G^{13}}{3,67 \cdot 10^5 \cdot \eta_H}$$

Если $\Delta N_m > \Delta N_H$, то дополнительная мощность, выработанная на тепловом потреблении при качественном регулировании больше, чем уменьшение мощности на перекачку воды за счет сокращения количества теплоносителя при количественном регулировании. Поэтому для этих условий выгоднее качественное регулирование. Если $\Delta N_m < \Delta N_H$, то выгоднее количественное регулирование, так как при нем уменьшение мощности на перекачку воды преоб-

ладает над увеличением мощности, вырабатываемой отъемным паром при качественном регулировании.

На том же рис. 3 показана зависимость $\Delta N_n = f(t_n)$ для ранее разобранного примера. Для условий данного примера кривые пересекаются в двух точках при $t_n = -30^\circ\text{C}$ и $t_n = +7^\circ\text{C}$, разбивая весь диапазон изменения t_n на три интервала, в каждом из которых с энергетической точки зрения целесообразно применить определенный способ регулирования отпусла тепла. Если наряду с отопительным теплотреблением есть горячее водоснабжение, то в области высоких наружных температур t_n переход на количественное регулирование будет определяться наименьшей температурой воды, идущей на горячее водоснабжение.

В действительных условиях эксплуатации идеального количественного регулирования осуществить нельзя. Обычно изменение количества воды носит ступенчатый характер в зависимости от числа и характеристики насосов. Однако это не изменяет полученные выводы. Переход от одного расхода воды к другому целесообразен лишь в том интервале, где $\Delta N_n > \Delta N_m$.

Исследования данного вопроса применительно к другим условиям позволяют сделать следующие выводы:

1. Чем выше расчетная температура ТЭЦ $t_{ТЭЦ}$, тем шире область применения количественного регулирования и наоборот. Если $t_{ТЭЦ} = t'_n$, то при небольших приведенных сопротивлениях сети в области низких значений температуры t_n количественное регулирование может оказаться нецелесообразным.

2. Чем больше приведенное сопротивление сети, тем шире области применения количественного регулирования.

3. Применение высоких начальных параметров на электростанциях сужает область применения количественного регулирования.