

Однако, получение в котле-утилизаторе пара, подаваемого на впрыск, обеспечивает достаточно глубокую утилизацию теплоты газов после газовой турбины. Температура газов на выходе из котла-утилизатора КПУ находится на уровне ее значений для утилизационных ПГУ, а это способствует снижению величины  $\pi_{к,опт}$ .

В результате значения  $\pi_{к,опт}$  обеспечивающие максимальный электрический КПД контактных ПГУ, оказываются сравнимыми и даже несколько меньшими, чем для одноцелевых ГТУ при тех же значениях  $t_3$ , и, естественно, возрастают при увеличении последней.

### Литература

1. Парогазовая установка с впрыском пара: возможности и оптимизация параметров цикла / Стырикович М.А., Фаворский О.Н., Батенин В.М. и др // Теплоэнергетика. – 1995. – № 10. – С. 52 – 57.
2. Газоперекачивающая установка ГПУ16К – опыт + новые решения. – Николаев НПО "Машпроект", 1997.
3. Стационарные газотурбинные установки / Л.В. Арсеньев, В.Г. Тырышкин, М.А. Богов [и др.] / Под ред. Л.В. Арсеньева, В.Г. Тырышкина. Л.: Машиностроение. – 1989. – 543 с.

УДК 621.34

### К выбору температурного графика теплосети при количественно-качественном способе регулирования тепловой нагрузки

Седнин А.В., Марченко П.Ю.

Белорусский национальный технический университет

В системе теплоснабжения РБ применяется центральное качественное регулирование отпуска теплоты потребителю, которое более эффективно при покрытии однородной нагрузки [1]. Однако в настоящее время тепловая нагрузка станций имеет неоднородный характер. Большое влияние на экономичность работы оборудования оказывает соотношение отопительной нагрузки и нагрузки ГВС, а также уровень автоматизации абонентских вводов потребителей. Для двух крупнейших ТЭЦ республики, Минской ТЭЦ-4 и Гомельской ТЭЦ-2, колебания рас-

ходов теплоносителя в течение дня в летний период составляют 25% и 30 % соответственно. Поэтому более перспективно в настоящее время применение метода количественно-качественного режима регулирования (ККР). Согласно применению данного метода требует технико-экономического обоснования.

Для определения эффективности реализации ККР первоначально необходимо определить оптимальный температурный график работы теплосети. Причем для данного режима оптимизируется не только температура теплоносителя, но и изменение расхода теплоносителя в течение года: т.к. в зависимости от продолжительности режима с малым расходом теплоносителя в значительной мере увеличивается эффективность внедрения ККР.

Построение графика температур для заданного режима расхода воды может быть выполнено решением уравнений теплового режима отопительной системы, в которых необходимо внести степенную зависимость изменения коэффициента теплопередачи нагревательных приборов. Он изменяется в зависимости от разности температур прибора и окружающей воды [2]:

$$k = c(t_1 + t_2 - 2t_B)^{0,25},$$

где  $c$  – теплоемкость воды, кДж/(кг·К);  $t_1$  – температура теплоносителя в падающих трубах, °С;  $t_2$  – температура теплоносителя в обратных трубах, °С;  $t_A$  – температура внутри помещения, °С.

Т.о. необходимая система уравнений имеет вид:

$$\frac{t_B - t'_H}{t_B - t_H} = \frac{[t'_C + (2u + 1)t'_2 - 2(u + 1)t_B]^{1,25}}{[t_C + (2u + 1)t_2 - 2(u + 1)t_B]^{1,25}} = \frac{G'(t'_C - t'_2)}{G(t_C - t_2)},$$

где  $t_f$  – температуру наружного воздуха, °С;  $u$  – коэффициент смешения элеватора;  $G$  – расход сетевой воды, кг/ч; индекс ' – те же величины, но при произвольном расходе теплоносителя.

Решая данное уравнение, находим:

$$t'_C = t_B + \left[ \frac{t_C + (2u + 1)t_2}{2(u + 1)} - t_B \right] \left( \frac{t_B - t'_H}{t_B - t_H} \right)^{0,8} +$$

$$+ \frac{(2u+1)G(t_C - t_2)(t_B - t'_H)}{2(u+1)G'(t_B - t_H)};$$

$$t'_2 = t_B + \left[ \frac{t_C + (2u+1)t_2}{2(u+1)} - t_B \right] \left( \frac{t_B - t'_H}{t_B - t_H} \right)^{0,8} -$$

$$\frac{G(t_C - t_2)(t_B - t'_H)}{2G'(u+1)(t_B - t_H)};$$

Для расчетных условий  $t_C = 150^\circ\text{C}$ ,  $t_2 = 70^\circ\text{C}$ ,  $t_B = 18^\circ\text{C}$ ,  $t_H = -24^\circ\text{C}$ ,  $u = 2,2$  и введя коэффициент  $p = G' / G$  получаем:

$$t'_C = 18 + 2,91(18 - t'_H)^{0,8} + 1,61(18 - t'_H)p^{-1};$$

$$t'_2 = 18 + 2,91(18 - t'_H)^{0,8} - 0,3(18 - t'_H)p^{-1}.$$

По данным формулам можно построить температурный график теплосети для любых значений расхода теплоносителя. На рисунке 1 показан трехступенчатый график температур.

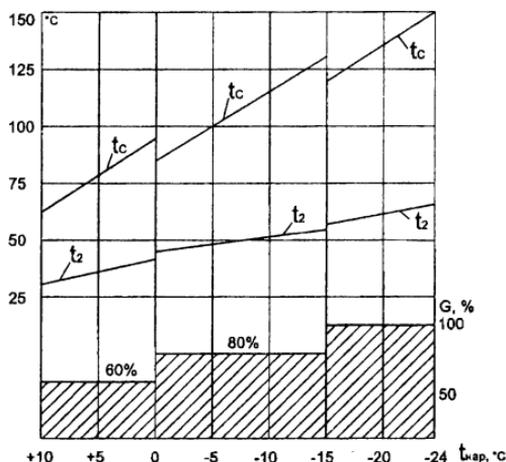


Рисунок 1. Трехступенчатый график регулирования

Для оценки экономического эффекта, а именно экономии расхода электроэнергии на перекачку теплоносителя, на рисунке 2 показан аналогичный график, но в зависимости от количества часов с одинаковой температурой наружного воздуха.

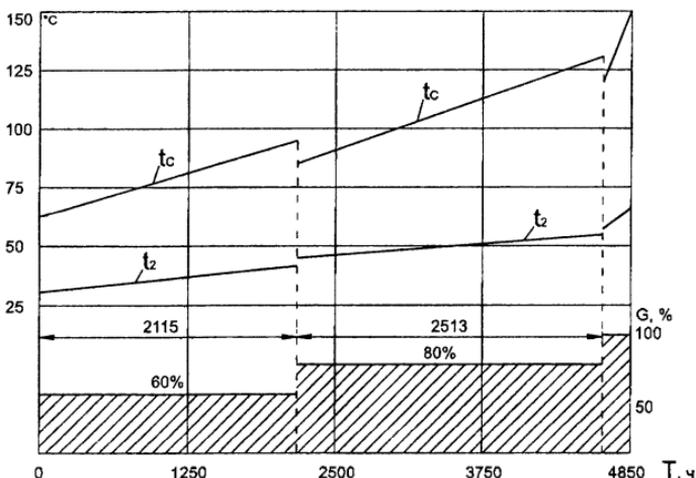


Рисунок 2. Трехступенчатый график регулирования.

При таком графике ступенчатого количественно-качественного регулирования тепловые сети работали бы со 100% расходом сетевой воды весьма ограниченное время – всего 230 часов (для климатических условий г. Минска).

Учитывая, что расход электроэнергии сетевыми насосами пропорционален третьей степени изменения расхода воды, в приведенном графике расходуемая насосами мощность при уменьшении расхода воды до 80 % падает до 51,2 % и при уменьшении расхода воды в тепловых сетях до 60 % расходуемая мощность падает до 21,6 %.

Однако для оптимизации температуры сетевой воды и определения оптимального числа ступеней графика регулирования необходимо рассчитать экономический эффект.

Основным критерием эффективности для действующих систем теплоснабжения следует принимать затраты топлива на производство и транспорт тепловой энергии – критерий, изначально принятый для обоснования качественного температурного графика отпуска теплоты.

В случае отпуска теплоты от ТЭЦ данный критерий будет состоять из следующих параметров:

расход топлива на производство теплоты  $Q_{отп}$ , которая состоит из тепловой нагрузки потребителей  $Q_{пот}$  и тепловых потерь при транспорте тепловой энергии от станции до теплового потребителя  $Q_{тр}$ ;

расход топлива на производство электроэнергии, потребляемой приводами сетевых насосов.

Кроме того, необходимо учесть тесную взаимосвязь режимов турбины и системы теплоснабжения, т.к. при изменении тепловой нагрузки наиболее существенно изменяются режимы регулирующих ступеней ЧВД, теплофикационные отсеки (группы ступеней, предшествующие регулируемым отборам пара), промежуточный отсек, часть низкого давления турбины.

#### **Литература**

1. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 472с.
2. Дюскин, В.К. Количественно-качественное регулирование тепловых сетей. – М.: Энергоиздат, 1959. – 147 с.

УДК 621.311

### **Пути реконструкции ТЭЦ малой мощности Республики Беларусь**

Седнин А.В., Богданович М.Л.

Белорусский национальный технический университет

В 50-ые годы прошлого столетия в ряде областных и районных центрах республики вводились тепловые электрические станции (ТЭС) со средними параметрами свежего пара по типовым проектам "Промэнергопроект". На многих ТЭС устанавливалось оборудование находившееся до этого момента в эксплуатации. Такое решение было связано с нехваткой средств, для покрытия нужд энергетической отрасли государства. В 70-ые годы многие конденсационные турбоагрегаты, на ТЭС средних параметров, были демонтированы, либо переведены в режим работы с "ухудшенным" вакуумом. В результате чего, многие городские электрические станции перешли в разряд теплоэлектроцентралей (ТЭЦ). Дальнейшее развитие теплофикации областных городов осуществлялось за счет ввода на ТЭЦ малой мощности пиковых водогрейных котлов, и лишь в наиболее значимых промышленных центрах строились крупные промышленно-отопительные ТЭЦ [1].

На сегодняшний день в составе концерна "Белэнерго" насчитывается около полутора десятков ТЭЦ малой мощности, часть