

## ЛИТЕРАТУРА

1. Жукаускас, А. А. Конвективный перенос в теплообменниках / А. А. Жукаускас. – М.: Наука, 1982.
2. Исаченко, В. П. Теплопередача / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – М.: Энергия, 1975.
3. Теплообменный элемент: пат. 3039 Респ. Беларусь, приоритет 16.02.2006 / Дьяков А. И., Киселев В. Г.
4. Мрочек, Ж. А. Определение интенсивности теплообмена при конвекции воздуха в межреберном пространстве плоских труб / Ж. А. Мрочек, А. И. Дьяков // Машиностроение. – 2007. – Вып. 22. – С. 220–223.

Представлена кафедрой  
металлорежущих станков  
и инструментов

Поступила 09.09.2008

УДК 621.165

### **К ВОПРОСУ ОГРАНИЧЕНИЯ НАГРУЗКИ ОТОПИТЕЛЬНЫХ ОТБОРОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ РЕЗЕРВНОЙ МОЩНОСТИ ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ТУРБОАГРЕГАТОВ**

**Канд. техн. наук КАЧАН С. А., инж. БАРАНОВСКИЙ И. Н.**

*Белорусский национальный технический университет,  
БелНИПИэнергопром*

Теплофикационные паротурбинные установки составляют около половины установленной мощности Белорусской энергосистемы. В таких условиях актуальным является исследование возможности использования «скрытых» вращающихся резервов этих установок.

Сокращение нагрузки отопительных отборов позволяет получать дополнительную (резервную) мощность до 10–18 % номинальной [1]. Скорость повышения мощности таким способом может быть достаточно высокой [1], что является важным условием привлечения установок к аварийному регулированию.

При ограничении нагрузки теплофикационных отборов турбин ТЭЦ необходимо компенсировать снижение отпуска теплоты потребителю (например, в период работы пиковых источников теплоты – форсированием пиковых водогрейных котлов). По мнению ряда авторов [2, 3], временное уменьшение подачи пара на теплофикацию не должно привести к существенным нарушениям в работе систем теплоснабжения, так как тепловые сети обладают большой аккумулирующей способностью и тепловой инерционностью.

Аккумуляция теплоты происходит в основном в абонентских установках (строительных конструкциях, отопительных системах зданий) и водяных тепловых сетях. Совместное воздействие подающей и обратной магистралей существенно (на 1–2 ч и более) замедляет темп охлаждения зданий [4].

Водяной объем тепловых сетей больших диаметров, достигающий нередко 40 тыс. м<sup>3</sup> и более, позволяет аккумулировать в них значительное количество теплоты, которого может быть достаточно для 3–4-часовой (а иногда и больше) нормальной работы всей теплофикационной системы [2]. При этом отметим, что в большинстве случаев достаточно ограничивать потребителей только на время, в течение которого котельные агрегаты перейдут на новую нагрузку.

Естественно, использование аккумулированной теплоты снижает температуру воды в системе. Соответственно при появлении на ТЭЦ свободной тепловой мощности необходимо временно повысить температурный уровень сети.

Отметим, что также есть и аргументы против применения снижения отпуска теплоты. Например, в [5] отмечается, что частые колебания температуры сетевой воды даже в относительно небольших пределах (15–25 °С) снижают надежность и долговечность работы тепловых сетей, а в [6], что общественные, коммунальные и промышленные здания, присоединенные к тепловым сетям ТЭЦ, могут иметь значительные вентиляционные нагрузки. Вентиляционные системы, как известно, не обладают тепловой инерцией, а потому не допускают перерывов в теплоснабжении.

Однако представляется, что в аварийных ситуациях эти возражения не являются решающими. В любом случае использование аккумулирующей способности зданий допускается только в пределах, при которых внутри отапливаемых зданий соблюдаются комфортные условия, т. е. температура внутри помещения  $t_{вн}$  не должна снижаться ниже 17–20 °С [7].

Определение величины понижения температуры внутри помещений при уменьшении температуры прямой сетевой воды является достаточно сложной и неоднозначной задачей.

Влияющими факторами являются не только значение температуры наружного воздуха  $t_{нв}$ , но и:

- аккумулирующая способность теплосетей, значение которой определяется их протяженностью, способом прокладки, диаметром трубопроводов и пр.;
- аккумулирующая способность зданий, определяемая не только типом здания, конструктивными особенностями его изоляции, но также геометрическими размерами и формой;
  - наличие в помещениях источников тепловыделения;
  - метеорологические условия (величина солнечной инсоляции, сила и направление ветра и пр.).

Эти факторы могут существенно различаться для разных потребителей теплоты, которые соответственно будут находиться в различных условиях.

Ожидаемая внутренняя температура  $t_{вн}$  в отапливаемых зданиях при использовании их аккумулирующей способности, т. е. при режимах, когда подвод теплоты не равен тепловым потерям, может быть определен по формуле [7]

$$t_{вн} = t_{нв} + \frac{Q_0}{q_0 V} + \frac{t_{вн}^{исх} - t_{нв} - Q_0 / (q_0 V)}{e^{z/\beta}},$$

где  $t_{вн}$  – допустимая температура внутри помещения, которая устанавливается в помещении через  $z$ , ч, после нарушения нормального теплового ре-

жима, °С;  $t_{\text{вн}}^{\text{исх}}$  – внутренняя температура, которая была в помещении в момент нарушения теплового режима, °С;  $t_{\text{нв}}$  – средняя температура наружного воздуха за период нарушения, т. е. за  $z$ , ч;  $Q_0$  – подача теплоты в помещение, МВт;  $V$  – объем здания по наружному обмеру, м<sup>3</sup>;  $q_0$  – удельные теплотери здания, Вт/(м<sup>3</sup>·°С);  $e$  – основание натуральных логарифмов ( $e = 2,718\dots$ );  $\beta$  – коэффициент аккумуляции здания, ч.

Представим относительный расход теплоты на отопление в виде

$$\bar{Q} = \frac{Q_0}{q_0 V (t_{\text{вн}}^{\text{исх}} - t_{\text{нв}})}.$$

Тогда значение относительного расхода теплоты на отопление, при котором с учетом аккумулирующей способности здания температура внутри помещения  $t_{\text{вн}}$  снизится на 1 °С от исходной  $t_{\text{вн}}^{\text{исх}}$ , можно рассчитать по формуле

$$\bar{Q}' = \frac{(\Delta t - 1) - \Delta t e^{-z/\beta}}{\Delta t (1 - e^{-z/\beta})},$$

где  $\Delta t = t_{\text{вн}}^{\text{исх}} - t_{\text{нв}}$ .

Найденные при  $\beta = 40$ ,  $t_{\text{вн}}^{\text{исх}} = 18$  °С и  $\Delta t = 1$  °С по этой формуле значения  $z$ , соответствующие разной величине  $\bar{Q}'$ , приведены в табл. 1 и на рис. 1.

Таблица 1

**Время  $z$  снижения температуры внутри помещения на 1 °С в зависимости от относительного расхода теплоты на отопление и наружной температуры**

$t_{\text{нв}}, \text{°C}$	$\bar{Q}' = 0,8$	$\bar{Q}' = 0,7$	$\bar{Q}' = 0,5$
-25	5 ч	3,2 ч	1,8 ч
-20	5,7 ч	3,7 ч	2,2 ч
-15	6,5 ч	4,2 ч	2,5 ч
-10	7,9 ч	5,1 ч	3,0 ч
-5	9,9 ч	6,2 ч	3,7 ч
0	Более 12 ч	8,2 ч	4,7 ч
5		11,8 ч	6,7 ч

Как видно, в зависимости от температуры наружного воздуха время, в течение которого при относительном расходе теплоты на отопление 80 % температура внутри помещений снижается всего на 1 °С, может быть весьма значительным.

По данным [2], суммарная инерционность теплофикационных систем несколько ниже и позволяет снизить подачу теплоты из отборов турбин ТЭЦ примерно на 20 % на 2–3 ч без нарушения нормируемых условий комфортности зданий.

Отметим, что снижение отпуска теплоты на 20 % соответствует уменьшению температуры сетевой воды в среднем 10–16 °С и увеличению электрической мощности турбины на 1–12 МВт в зависимости от типа установки и ее исходной нагрузки. Так, по данным нормативных энергетических характеристик теплофикационных турбоагрегатов, при нормальном состоянии их про-

точной части за счет ограничения отпуска теплоты можно получить дополнительную электрическую мощность в размере около 0,03–0,05 МВт·ч/ГДж.

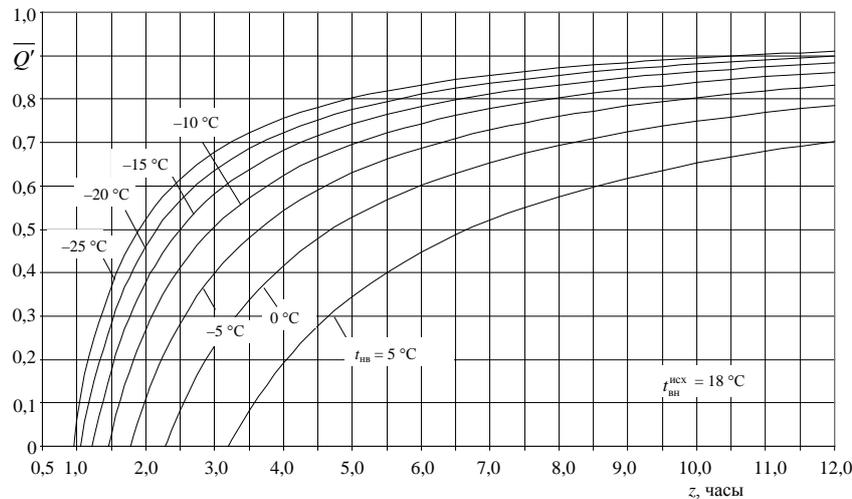


Рис. 1. Относительный расход теплоты на отопление, при котором температура внутри помещения снижается на 1 °С за время  $z$  в зависимости от температуры наружного воздуха  $t_{нв}$

В целом по станции, на которой эксплуатируются мощные теплофикационные турбоустановки типа Т-180-130 или Т-250-240, это соответствует получению до 10–35 МВт резервной мощности.

### ВЫВОД

Хотя из условия поддержания надежности работы оборудования ограничение нагрузки отопительных отборов не должно регулярно использоваться, этот способ получения дополнительной электрической мощности может рассматриваться в качестве вращающегося резерва энергосистемы в непредвиденных или аварийных ситуациях.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Качан, С. А. К вопросу использования резерва мощности теплофикационных турбоустановок / С. А. Качан, И. Н. Барановский // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2008. – № 6. – С. 80–86.
2. Белинский, С. Я. Исследование процессов аккумуляции тепла в системах теплофикации / С. Я. Белинский, Р. С. Харазян // Электрические станции. – 1972. – № 8. – С. 37–40.
3. Белинский, С. Я. Натурные исследования теплоаккумулирующей способности типовых жилых зданий / С. Я. Белинский, Р. С. Харазян // Теплоэнергетика. – 1971. – № 10. – С. 17–20.
4. Яковлев, Б. В. Повышение эффективности систем теплофикации и теплоснабжения / Б. В. Яковлев. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2002. – 448 с.
5. Факторович, М. Г. Проблемы покрытия переменных электрических нагрузок в энергосистемах / М. Г. Факторович. – Минск: Наука и техника, 1965.
6. Гельтман, А. Э. Анализ эффективности использования ТЭЦ для покрытия пиковых электрических нагрузок / А. Э. Гельтман, Н. И. Шапиро // Теплоэнергетика. – 1968. – № 2. – С. 51–55.
7. Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети: учеб. для вузов / Е. Я. Соколов. – М.: Энергоиздат, 1982. – 360 с.

Представлена кафедрой ТЭС

Поступила 08.08.2008