

УДК 697.34

## ВАЖНЕЙШИЕ ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОФИКАЦИИ ГОРОДОВ

Докт. техн. наук, проф., засл. деят. науки и техники РФ АНДРЮЩЕНКО А. И.

*Саратовский государственный технический университет*

Теплофикация как централизованное теплоснабжение при комбинированной выработке электрической и тепловой энергии [1] является важнейшим средством достижения экономии топлива и улучшения экологического состояния городов. Особенно широко теплофикация крупных городов осуществлялась в нашей стране в предвоенные годы, так как местные отопительные котельные, использующие низкосортные топлива, имели низкий КПД. К тому же на них было занято большое количество рабочих, необходимых в этот период на крупных стройках. Комбинированная выработка энергии на ТЭЦ также обеспечивала громадную экономию топлива. Вместе с тем, в довоенные годы теплофикация не получила широкого распространения в развитых западных странах, где эксплуатировались более совершенные энергоустановки и не было необходимости в сокращении рабочих мест. Однако в последующие десятилетия прошлого века, когда цены на топливо многократно выросли и были созданы высокоэкономичные парогазовые установки, теплофикация в западных странах получила широкое применение с одновременной модернизацией. В России по причине общего экономического кризиса теплофикационные системы не были модернизированы, однако резко ухудшилась надежность теплоснабжения, тарифы на тепловую энергию оказались в 1,5...2 раза выше, чем при отоплении от собственных теплоисточников. Поэтому использовать децентрализованные системы теплоснабжения отдельных домов и даже квартир, т. е. применять автоматизированные теплогенераторы при их КПД, почти равном единице, во многих случаях стало экономически более выгодно [2].

В условиях технического прогресса, когда центральные котельные практически имеют одинаковые и близкие к единице КПД, а конденсационные электростанции (КЭС) с парогазовыми установками (ПГУ) могут иметь КПД более 60 %, возникает вопрос о целесообразности в дальнейшем применять теплофикацию городов. Прежде всего, для этого необходимо определить предельную возможность экономии топлива в традиционных системах теплофикации и пути их эффективной модернизации. Одновременно должны быть решены вопросы сокращения количества

сжигаемого топлива внутри городов с целью улучшения их экологического состояния и хотя бы частичной замены природного газа твердыми и более дешевыми видами топлива [3].

Максимально возможную экономию топлива определим традиционно как разность между его расходами в теплофикационной и раздельной системах теплоснабжения, при которых тепловые потребители получат необходимое количество теплоты  $Q_0$ :

$$\Delta B = B_{\text{КЭС}} + B_{\text{кот}} - B_{\text{ТЭЦ}}, \quad (1)$$

где в общем случае без учета потерь в сетях:

$$B_{\text{ТЭЦ}} = \frac{Q_0(1 + y_3^{\text{ТЭЦ}})}{K_{\text{ит}}^{\text{ТЭЦ}} Q_{\text{н}}^{\text{р}}};$$

$$B_{\text{КЭС}} = \frac{Q_0 y_3^{\text{ТЭЦ}}}{\eta_3^{\text{КЭС}} Q_{\text{н}}^{\text{р}}};$$

$$B_{\text{кот}} = \frac{Q_0}{\eta_{\text{кот}} Q_{\text{н}}^{\text{р}}}.$$

Отсюда

$$\Delta B_{\text{эк}}^{\text{ТЭЦ}} = \frac{Q_0}{Q_{\text{н}}^{\text{р}}} \left[ y_3^{\text{ТЭЦ}} \left( \frac{1}{\eta_3^{\text{КЭС}}} - \frac{1}{K_{\text{ит}}^{\text{ТЭЦ}}} \right) + \frac{1}{\eta_{\text{кот}}} - \frac{1}{K_{\text{ит}}^{\text{ТЭЦ}}} \right], \quad (2)$$

где  $y_3^{\text{ТЭЦ}}$  – удельная выработка электроэнергии комбинированным способом, отнесенная ко всей теплоте, отпущенной с ТЭЦ;  $\eta_3^{\text{КЭС}}$  – КПД замещающей КЭС или конденсационной выработки электроэнергии на ТЭЦ;  $K_{\text{ит}}^{\text{ТЭЦ}}$  – коэффициент использования теплоты топлива на ТЭЦ;  $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$  – теплота сгорания топлива.

Максимально возможная экономия топлива в системе энергоснабжения города при достижимых значениях  $y_3^{\text{ТЭЦ}}$  и  $\eta_3^{\text{КЭС}}$  и достижимых  $K_{\text{ит}} = \eta_{\text{кот}} = 1$  в соответствии с (2) составит

$$\Delta B_{\text{эк}}^{\text{max}} = \frac{Q_0 y_3^{\text{ТЭЦ}}}{Q_{\text{н}}^{\text{р}}} \left( \frac{1}{\eta_3^{\text{КЭС}}} - 1 \right). \quad (3)$$

Удельная максимально возможная экономия топлива, отнесенная к его расходу, при раздельной выработке энергии найдется по формуле

$$\delta B_{\text{эк}}^{\text{max}} = \frac{\Delta B_{\text{эк}}^{\text{max}}}{B_{\text{КЭС}} + B_{\text{кот}}} = \frac{y_3^{\text{ТЭЦ}} (1 - \eta_3^{\text{КЭС}})}{y_3^{\text{ТЭЦ}} + \eta_3^{\text{КЭС}}}. \quad (4)$$

Для определения порядка величин достигаемой максимальной экономии топлива проведены расчеты  $\Delta B_{\text{эк}}^{\text{max}}$ ,  $\Delta B_{\text{эк}}^{\text{ТЭЦ}}$  и  $\delta \bar{B}_{\text{max}}$  для системы тепло-

снабжения при  $Q_0 = 1 \cdot 10^6$  МДж. Топливо – условное с  $Q_H^p = 29,3$  МДж/кг. В расчетах приняты:  $K_{ит}^{ТЭЦ} = 0,85$  и  $\eta_{кот} = 0,95$ . Остальные исходные данные и результаты расчетов сведены в табл. 1.

Таблица 1

$y_3^{ТЭЦ}$	$\eta_3^{КЭС}$	$\Delta B_{ЭК}^{max}$ , т у. т.	$\overline{\delta B}_{ЭК}^{\%}$	$\Delta B_{ЭК}^{ТЭЦ}$ , т у. т.	% от $\Delta B_{ЭК}^{max}$
0,25	0,20	340,0	44,4	284,0	83,5
0,45	0,30	340,5	42,0	274,2	80,5
0,65	0,40	341,3	37,1	266,6	78,2
1,0	0,50	341,4	33,3	235,5	69,0
1,5	0,60	341,6	26,4	204,8	60,0

По результатам расчетов построен график (рис. 1) зависимостей  $\Delta B_{ЭК}^{max}$ ,  $\Delta B_{ЭК}^{ТЭЦ}$  и  $\overline{\delta B}_{ЭК}^{\%}$  от  $y_3^{ТЭЦ}$  и соответствующих ему значений  $\eta_3^{КЭС}$ .

$\overline{\delta B}_{ЭК}^{\%}$ ,  $\Delta B_{ЭК}^{max}$ ,  $\Delta B_{ЭК}^{ТЭЦ}$ , т у. т.

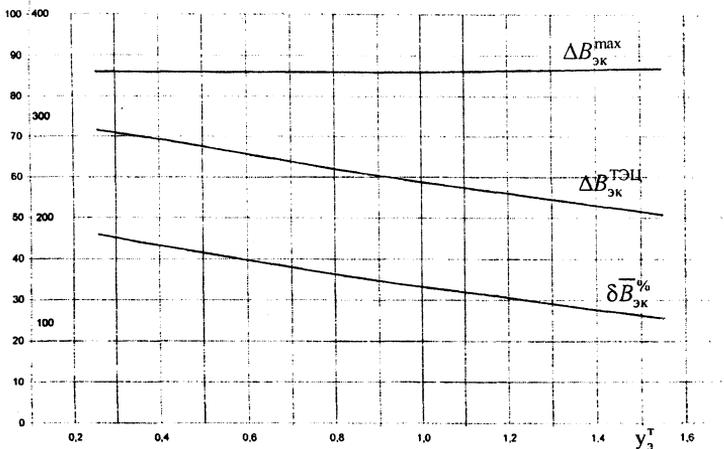


Рис. 1

Как видно из таблицы и рисунка, максимально возможная экономия топлива при отсутствии тепловых потерь на ТЭЦ в обозримой перспективе сохраняется довольно значительной. Общее количество сэкономленного топлива, приходящегося на 1 МДж отдаваемой потребителю теплоты, остается одинаковым. Неприятным является лишь тот факт, что относительная экономия топлива в перспективе уменьшается и тем больше, чем меньше величина  $K_{ит}$ . Отсюда следует, что для увеличения экономии топлива от теплофикации надо, прежде всего, добиваться одновременного увеличения  $y_3^{ТЭЦ}$  и  $K_{ит}^{ТЭЦ}$ . Не менее важной задачей при проектировании и эксплуатации теплофикационных систем является снижение до минимума потерь отдаваемой в сеть теплоты, утечек сетевой воды и расхода электроэнергии на привод сетевых насосов. Значительное влияние на экономию топлива оказывает и «перетоп» отапливаемых зданий, т. е. излишний отпуск теплоты потребителям, вызванный несовершенством центрального регулирования работы системы. Дело в том, что при центральной сис-

теме регулирования отопления необходимая квартирная регулировка не применяется, поскольку она может вызвать разрегулировку всей гидравлической системы. К этому перетопу можно отнести и ущерб от «недотоп», когда в самые холодные дни года требуемая температура сетевой воды не выдерживается и потребители вынуждены «догреваться» электрическими нагревателями. Но это – «ненормальное» явление, и здесь его учитывать не будем. Таким образом, при традиционной теплофикации в тепловой сети отпускается от ТЭЦ всегда больше теплоты, чем при совершенном децентрализованном теплоснабжении. Обозначая тепловые потери в сетях через  $\Delta Q_{\text{пот}}^{\text{тс}}$ , потери от утечек сетевой воды  $\Delta Q_{\text{ут}}^{\text{тс}}$ , потери от перетопы  $\Delta Q_{\text{пот}}^{\text{пер}}$ , суммарные внешние потери выразятся

$$\sum Q_{\text{пот}} = \Delta Q_{\text{пот}}^{\text{тс}} + \Delta Q_{\text{ут}}^{\text{тс}} + \Delta Q_{\text{пот}}^{\text{пер}}.$$

Кроме того, дополнительно расходуется электроэнергия на привод сетевых насосов  $\Delta \mathcal{E}_{\text{сн}}$  как на самой ТЭЦ, так и тепловых сетях. При этом достигаемая экономия топлива уменьшается по сравнению с максимально возможной на величину

$$\Delta B_{\Sigma}^{\text{пот}} = \sum \Delta B_{\text{пот}}^Q + \Delta B_{\text{рас}}^{\mathcal{E}}. \quad (5)$$

Расход топлива на восполнение  $\Delta \mathcal{E}_{\text{сн}}$  определяется по ее выработке на КЭС, не зависимо от того, отбирается электроэнергия от ТЭЦ или от КЭС. При этом, пренебрегая нагревом воды в сетевых насосах:

$$\Delta B_{\text{сн}}^{\mathcal{E}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{сн}}}{\eta_{\mathcal{E}}^{\text{КЭС}} Q_{\text{н}}^{\text{р}}}. \quad (6)$$

В отличие от этого расход топлива на тепловые потери должен определяться с учетом различий в комбинированной и конденсационной выработке электроэнергии. Дело в том, что в сетях теряется низкопотенциальная теплота отборного пара, которая при ее восполнении на ТЭЦ вызывает дополнительную выработку электроэнергии без тепловых потерь в конденсаторе [2]. А это приведет к уменьшению конденсационной ее выработки на КЭС в количестве

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{КЭС}} = y_3^{\text{ТЭЦ}} \sum Q_{\text{пот}}.$$

При этом расход топлива на ТЭЦ увеличится на

$$\Delta B_{\text{ТЭЦ}} = \frac{\sum Q_{\text{пот}} (1 + y_3^{\text{ТЭЦ}})}{K_{\text{ит}}^{\text{ТЭЦ}} Q_{\text{н}}^{\text{р}}},$$

а расход топлива на замещаемой КЭС уменьшится на

$$\Delta B_{\text{КЭС}} = \frac{\sum Q_{\text{пот}} y_3^{\text{ТЭЦ}}}{\eta_{\mathcal{E}}^{\text{КЭС}} Q_{\text{н}}^{\text{р}}}.$$

Дополнительный расход топлива в системе энергоснабжения города, вызванный этими потерями, будет равен разности между  $\Delta B_{\text{ТЭЦ}}$  и  $\Delta B_{\text{КЭС}}$  или

$$\Delta B_{\text{пот}}^c = \frac{\sum Q_{\text{пот}}}{Q_{\text{н}}^p} \left( 1 + y_3^{\text{ТЭЦ}} - \frac{y_3^{\text{ТЭЦ}}}{\eta_3^{\text{КЭС}}} \right). \quad (7)$$

Очевидно, что такого снижения потерь топлива не будет в системе теплоснабжения от центральной котельной, поскольку там нет комбинированной выработки электроэнергии. Перерасход топлива от тепловых потерь  $\Sigma Q_{\text{пот}}$  там будет равен

$$\Delta B_{\text{пот}}^{\text{цок}} = \frac{\sum Q_{\text{пот}}}{Q_{\text{н}}^p \eta_{\text{кот}}}. \quad (8)$$

Для определения порядка величин перерасхода топлива (снижения его экономии), вызванного появлением тепловых потерь  $\Sigma Q_{\text{пот}}$ , произведены их примерные расчеты. Для этого приняты исходные данные, соответствующие теплофикационной системе, рассмотренной в предыдущем примере при тех же  $y_3^{\text{КЭС}}$  и  $\eta_3^{\text{КЭС}}$ ,  $Q_0 = 1 \cdot 10^6$  МДж и  $K_{\text{ит}}^{\text{ТЭЦ}} = 0,85$ . Результаты расчетов  $\Delta B_{\text{пот}}^c$  сведены в табл. 2.

Таблица 2

$y_3^{\text{ТЭЦ}}, \eta_3^{\text{КЭС}}$	$\Sigma Q_{\text{пот}}$			
	$0,05 \cdot 10^6$	$0,1 \cdot 10^6$	$0,15 \cdot 10^6$	$0,2 \cdot 10^6$
0,25/0,20	3,75	7,52	11,25	15,08
0,43/0,30	4,25	8,50	12,75	17,00
0,67/0,40	5,76	11,52	17,28	23,04
1,0/0,50	5,98	11,96	17,94	19,92
1,5/0,60	7,49	14,98	22,47	29,96

По данным табл. 2 построен график (рис. 2) зависимости перерасхода топлива  $\Delta B_{\text{пот}}^c$  от величины тепловых потерь.

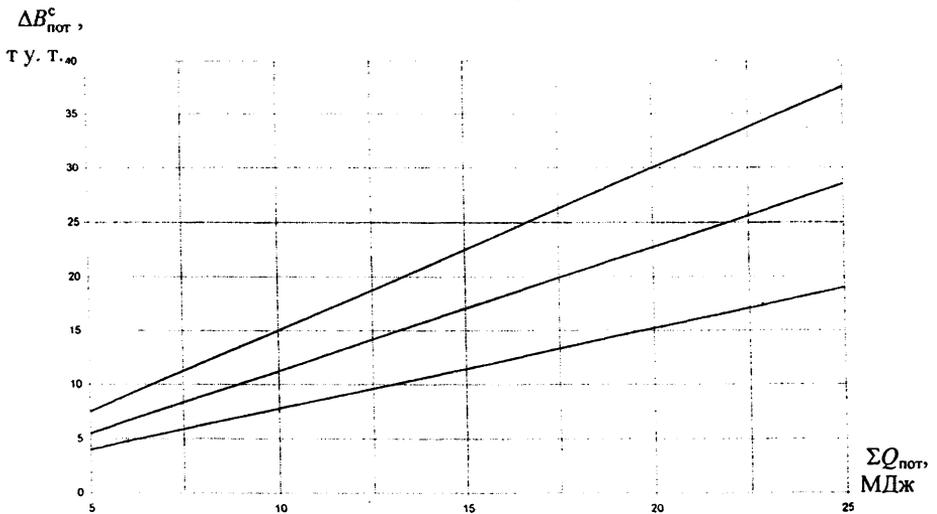


Рис. 2

Если учесть, что экономия топлива  $\Delta B_{\text{эк}}^{\text{ТЭЦ}}$  находится в пределах 200...360 т у. т. (рис. 1), то при возрастании тепловых потерь от 5 до

20 % от  $Q_0$  потеря экономии топлива составляет от 1,25 до 10 % и тем больше, чем выше соотношение между  $\gamma_3^{КЭС}$  и  $\eta_3^{КЭС}$ . Отсюда следует важный вывод, что чем более совершенны энергетические установки, применяемые на ТЭЦ и КЭС, тем более чувствительна система к тепловым потерям как в тепловых сетях, так и на ТЭЦ. Тепловые потери в сетях могут быть значительно уменьшены и при сооружении пиковых котельных не на территории ТЭЦ, а у самих потребителей. При этом потери теплоты в сетях в зимнее время могут снижаться почти в 1,5 раза. В этом случае значительно уменьшается и расход электроэнергии на привод сетевых насосов, поскольку устраняется опасность вскипания воды в верхних точках города, а давление воды может быть снижено. Значительное уменьшение тепловых потерь  $\Sigma Q_{\text{пот}}$  практически достигается также при использовании в теплофикационных системах потребительских микроТЭЦ. При этом можно на районных ТЭЦ круглогодично нагревать сетевую воду только до  $t = 60 \dots 70$  °С (необходимой для горячего водоснабжения), а всю отопительную нагрузку покрывать от микроТЭЦ и местных газовых нагревателей воды [4]. Обратной сетевой воды на ТЭЦ возвращать не придется, а тепловая сеть превращается в однотрубную с низкими температурой и давлением. Тепловые потери в сети уменьшаются более чем в 1,5 раза, а потребные капиталовложения в магистральные сети – почти в 2 раза. В таких системах можно выносить ТЭЦ далеко за город и сжигать там более дешевое, в том числе низкосортное топливо. Соответственно улучшается экологическая обстановка в городах.

Потери топлива от утечки сетевой воды определяются не только через энтальпию вытекаемой воды, но и с учетом расхода электроэнергии на ее приготовление и пр. При этом последнее можно учитывать путем присоединения ее к расходу на перекачку воды  $\Delta B_{\text{сн}}$ . Однако главное здесь – это применение труб с внутренним и высоким антикоррозионным покрытием, удлиняющим срок их службы до 50...60 лет.

## ВЫВОДЫ

1. Теплофикация городов, основанная на комбинированной выработке электрической и тепловой энергии, в обозримой перспективе может обеспечивать значительную экономию топлива, и в первую очередь – природного газа.
2. Относительная величина этой экономии с повышением экономичности теплофикационных и конденсационных электростанций соответственно уменьшается и становится более чувствительной к тепловым потерям как в сетях, так и на самой ТЭЦ.
3. Проведенный анализ рассматриваемой проблемы, как и опыт городов западных стран, позволяет рекомендовать к широкому применению комбинированные системы энергоснабжения, использующие низкотемпературные и однотрубные тепловые сети с догревом воды у потребителей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети. – М.: Энергоиздат, 1982. – 360 с.
2. Принципы создания высокоэкономичных систем централизованного теплоснабжения / А. И. Андрющенко, Ю. Е. Николаев, Б. А. Семенов, А. Г. Гордеев // Промышленная энергетика. – 2003. – № 5. – С. 8–12.
3. Андрющенко А. И. Пути сокращения расхода природного газа в системах теплоэнергоснабжения городов // Изв. вузов. Проблемы энергетике. – 2001. – № 9–10. – С. 4–52.
4. Андрющенко А. И. Комбинированные системы энергоснабжения // Теплоэнергетика. – 1997. – № 5. – С. 2–6.

Представлена кафедрой  
теплоэнергетики

Поступила 30.10.2003

УДК 620.9:628.5

### НОВЫЕ ПОДХОДЫ К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЭНЕРГОИСТОЧНИКОВ

Докт. техн. наук, проф. БУБНОВ В. П., асп. МИНЧЕНКО Е. М., инж. ДЕЩИЦ С. С.

*Белорусский национальный технический университет*

Сегодня энергетика все более зависима не только от экономических и социальных условий, но и от экологических факторов. Работа по охране окружающей среды на ТЭС состоит в мониторинге загрязнений, разработке и реализации способов сжигания топлив, позволяющих снизить количество загрязняющих веществ, создании способов и средств для очистки сбросов, улавливания выбросов и утилизации отходов. Для решения экологических проблем и производства конкурентоспособной продукции существующий механизм природоохранной деятельности необходимо совершенствовать, поэтому все большее значение приобретает экологическая эффективность работы энергоисточников, повысить уровень которой возможно, используя системный подход к осуществлению деятельности в области охраны окружающей среды, т. е. важно внедрять системы управления окружающей средой (СУОС), созданные на основе международных стандартов серии ИСО 14000 [1...3].

СУОС позволяет снижать экологический риск предприятия путем всеобъемлющего и систематического контроля и управления его воздействиями. Система строится на принципе «План – Действие – Проверка – Улучшение». Эта модель поддерживает концепцию непрерывного улучшения, т. е. повышения эффективности экологической деятельности, а следовательно, и конкурентоспособности выпускаемой продукции.

Стандарты по управлению окружающей средой предназначены для обеспечения предприятия элементами эффективной СУОС, которые могут быть объединены с другими элементами административного управления с тем, чтобы содействовать достижению установленных экологических и экономических целей.