

УДК 697.1: 621.311

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ НА ТОПЛИВНУЮ ЭКОНОМИЧНОСТЬ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Кодолич А.Н., Эркабаева Е.О.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Качан С.А.

Централизованное теплоснабжение городов осуществляется на базе системы связанных между собой инженерных объектов и сооружений, включающих ТЭЦ, котельные, тепловые сети, насосные подстанции и тепловые узлы зданий. От тепловой эффективности каждого элемента и взаимосвязей между ними зависит экономичность функционирования всей системы [1, 2].

Помимо потерь теплоты $Q^{\text{пот}}$ в тепловых сетях имеются также утечки сетевой воды, которые увеличивают расход электроэнергии на привод сетевых насосов. Поскольку регулирование теплопотребления производится централизованно, это вызывает некоторый «перетоп» зданий $Q_{\text{пт}}$, по сравнению с теплоснабжением от локальных источников. Указанное имеет место не только для отопительной нагрузки, но и для горячего водоснабжения. Из-за отмеченного количество отдаваемой сетевой водой в тепловых узлах теплоты $Q_{\text{т.уз}}$ оказывается больше фактически используемой $Q_{\text{исп}}$ и составляет [1, 2]

$$Q_{\text{т.уз}} = Q_{\text{исп}} K_{\text{пт}}, \quad (1)$$

где $K_{\text{пт}}$ – коэффициент перетопа, равный около 1,1–1,2 [1].

Кроме того, для подготовки добавочной воды, восполняющей потери с утечкой, необходимо затратить некоторое количество электроэнергии и теплоты отборного пара на деаэрацию добавочной воды. Наличие всех этих потерь в конечном итоге приводит к тому, что на ТЭЦ приходится вырабатывать больше тепловой энергии, чем при отдельном энергоснабжении от конденсационной электростанции и местных котельных, и еще больше, чем фактически используется потребителями.

Это превышение в общем случае составляет [1]

$$Q_{\text{ТЭЦ}} - Q_{\text{исп}} = Q^{\text{пот}} + Q_{\text{пт}} + Q_{\text{т.уз}}, \quad (2)$$

где

$$Q^{\text{пот}} = Q_{\text{ТЭЦ}} (1 - \eta_{\text{ТС}});$$

$$Q_{\text{пт}} = Q_{\text{исп}} (K_{\text{пт}} - 1);$$

$$Q_{\text{т.уз}} = Q_{\text{ис}} \xi_{\text{т.уз}}.$$

Здесь $\eta_{\text{ТС}}$ – КПД тепловых сетей;

$\xi_{\text{т.уз}}$ – доля тепловых потерь в насосных подстанциях и тепловых узлах.

С учетом того, что в существующих условиях эксплуатации систем теплоснабжения их тепловая эффективность составляет $\eta_{\text{ТС}} = 0,8-0,9$ [1], отмеченные выше перерасходы приводят к общему превышению производства

теплоты на ТЭЦ над используемым потребителями количеством теплоты до 20–30% [1].

Важнейшим направлением повышения тепловой экономичности систем теплоснабжения является их модернизация и реконструкция с использованием передовых технологий: внедрения газотурбинных и парогазовых установок, применения новых конструкций теплопроводов, а также систем автоматизации и учета энергоносителей.

При проведении модернизации и реконструкции тепловых сетей путем замены отдельных элементов важным является учет взаимной зависимости тепловых потерь на различных участках и их влияние на итоговый расход топлива в системе энергоснабжения [1]. Для определения этого влияния в [1] разработана математическая модель и проведены расчеты для характерной системы теплоснабжения, состоящей из централизованного источника, тепловых сетей и потребителей, приведенной на рисунке 1.

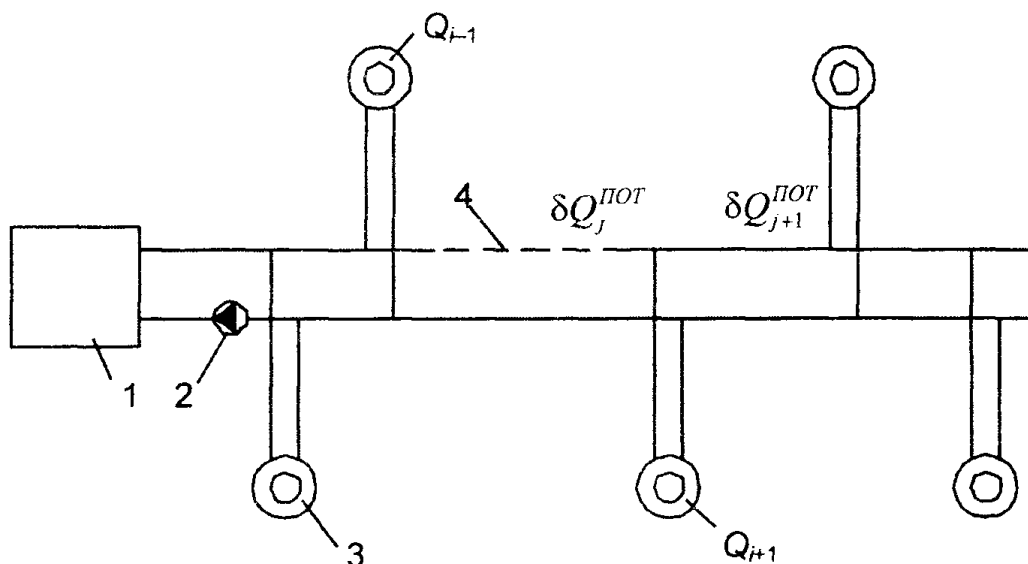


Рисунок 1. Система теплоснабжения: 1 – источник теплоты; 2 – сетевой насос; 3 – тепловой потребитель; 4 – поврежденный участок теплотрассы

В математической модели принимается, что при разрушении тепловой изоляции на j -м участке, тепловые потери в нем возрастают на $\delta Q_j^{пот}$, а температура сетевой воды на вводе к $(j+1)$ -му потребителю снижается на величину δt_j . Тепловые потери $\delta Q_{j+1}^{пот}$ на всех последующих $(j+1)$ -х участках теплотрассы вследствие наружного охлаждения уменьшаются на $\delta Q_j^{охл}$, поскольку температура прямой сетевой воды понижается на δt_j . Одновременно на этих участках расход сетевой воды увеличивается на δG_{j+1} , вследствие снижения теплотерь $\delta Q_j^{пот}$. Принимается, что температура обратной сетевой воды, а также теплоотдача радиаторов и тепловое потребление Q_j не изменяется.

Уменьшение тепловых потерь $\delta Q_{j+1}^{\text{пот}}$ на последующих участках сети частично компенсирует появившуюся потерю на j -м участке $\delta Q_j^{\text{пот}}$. В результате этого суммарные потери будут равны

$$\delta Q_{\Sigma}^{\text{пот}} = \delta Q_j^{\text{пот}} - \sum_{j=j+1}^n (\delta Q_j^{\text{охл}}). \quad (3)$$

Поскольку при качественном регулировании температура прямой сетевой воды на выходе из теплоисточника поддерживается неизменной и задается по температуре наружного воздуха, компенсацию суммарных теплотерь в сети, вызванную повреждением j -го участка, можно обеспечить только увеличением общего расхода прямой сетевой воды на величину

$$\delta G_{\text{св}} = \delta Q_{\Sigma}^{\text{пот}} / (C_{\text{св}} \Delta t_{\text{св}}), \quad (4)$$

где $\Delta t_{\text{св}}$ – разность температур прямой и обратной сетевой воды;

$C_{\text{св}}$ – теплоемкость сетевой воды.

При этом для подачи в тепловую сеть увеличенного расхода сетевой воды необходимо затратить дополнительную электроэнергию $\delta N_{\text{сн}}$ на привод сетевых насосов.

При не полностью загруженных отборах паротурбинной установки и сохранении расхода острого пара и, следовательно, топлива на ТЭЦ постоянными, увеличение теплотерь на участке подающей магистрали теплосети приведет к уменьшению выработанной электроэнергии на величину

$$\delta N_{\text{э}} = \delta Q_{\Sigma}^{\text{пот}} (l_{\text{кн}} \eta_{\text{мг}} / q_{\text{от}} - W_{\text{тф}}) + \delta N_{\text{сн}}, \quad (5)$$

где $l_{\text{кн}}$ – удельная работа конденсационного потока пара в турбине;

$\eta_{\text{мг}}$ – КПД, отражающий механические потери в турбине и электрогенераторе;

$q_{\text{от}}$ – удельная теплота отборного пара;

$W_{\text{тф}}$ – удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении.

Такое же количество электроэнергии должно быть выработано на конденсационной электростанции, на что потребуется теплота топлива, равная

$$\delta Q^{\text{пот}} = \delta N_{\text{э}} / (\eta_{\text{э}}^{\text{кэс}} \eta_{\text{тр}}^{\text{э}}), \quad (6)$$

где $\eta_{\text{э}}^{\text{кэс}}$, $\eta_{\text{тр}}^{\text{э}}$ – электрический КПД КЭС и транспорта электроэнергии.

С учетом (5) и (6) в [1] получено выражение для определения относительного прироста теплоты топлива в энергосистеме к приросту тепловых потерь

$$\beta' = \delta Q^{\text{пот}} / \delta Q_{\Sigma}^{\text{пот}} = (l_{\text{кн}} \eta_{\text{мг}} / q_{\text{от}} - W_{\text{тф}} + \delta N_{\text{сн}} / \delta Q_{\Sigma}^{\text{пот}}) / (\eta_{\text{э}}^{\text{кэс}} \eta_{\text{тр}}^{\text{э}}). \quad (7)$$

В случае, когда теплофикационные отборы пара турбоустановок загружены полностью и часть тепловой нагрузки покрывается от пиковых водогрейных котлов ТЭЦ, увеличение тепловых потерь в сетях вызовет относительный прирост расхода теплоты топлива в количестве

$$\beta'' = \delta Q^{\text{пот}} / \delta Q_{\Sigma}^{\text{пот}} = 1/\eta_{\text{ПК}} + \delta N_{\text{сн}} / \delta Q_{\Sigma}^{\text{пот}}, \quad (8)$$

где $\eta_{\text{ПК}}$ – КПД пикового водогрейного котла.

Для расчета изменения расхода топлива необходимо разделить величину β на теплоту сгорания топлива.

С использованием выражений (7) и (8) в [1] определено влияние места потерь в тепловых сетях на относительный прирост теплоты топлива в системе.

В [1] в качестве примера рассмотрена система теплоснабжения с расчетной тепловой нагрузкой 465 МВт, температурным графиком 130/70°C, нагрев сетевой воды в которой производится в сетевых подогревателях турбины Т-110/120-130 и пиковом водогрейном котле. Протяженность сетей равна 17 км с равномерным распределением тепловой нагрузки по длине. Остальные данные приняты следующими: $\eta_{\text{тр}}^{\text{а}} = 0,94$, $l_{\text{кн}} = 1239$ кДж/кг, $\eta_{\text{мг}} = 0,97$, $q_{\text{от}} = 2030$ кДж/кг, $W_{\text{тф}} = 0,485$, $\eta_{\text{эд}} = 0,95$ [1].

Расчеты выполнены для трех участков сети (начального, среднего и конечного) протяженностью 2 км. Температуры сетевой воды в подающем и обратном трубопроводах принимались равными 78/46°C и 130/70°C, что соответствует работе ТЭЦ с отключенным и включенным пиковым водогрейным котлом.

При неполной загрузке отборов турбины ТЭЦ расчеты производились для случая паротурбинной и парогазовой КЭС, соответственно с $\eta_{\text{э}}^{\text{ПТУ-КЭС}} = 0,38$ КЭС и $\eta_{\text{э}}^{\text{ПГУ-КЭС}} = 0,57$. При полной загрузке отборов турбины ТЭЦ и изменении нагрузки пиковых водогрейных котлов их КПД принимался равным $\eta_{\text{ПК}} = 0,9$.

Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Проведенные расчеты показали, что одинаковый прирост потерь $\delta Q_j^{\text{пот}}$ на разных участках сети вызывает различное снижение температуры и расхода сетевой воды. Потребная мощность сетевого насоса увеличивается по мере удаления аварийного j -го участка от начала теплосети. Вследствие этого прирост суммарных тепловых потерь в системе оказывается зависимым от места расположения поврежденного участка.

Перерасход топлива в системе увеличивается с удалением поврежденного участка теплопровода. Как видно из таблицы 1, величина β' выше для варианта паротурбинной КЭС энергосистемы, характеризующейся более высокими топливными издержками в сравнении с парогазовой.

На суммарные потери во всей системе оказывает влияние температурный график сети.

В период работы пиковых водогрейных котлов на ТЭЦ величина β'' возрастает в 1,45–2,25 раза в сравнении с β' при паротурбинной КЭС и в 2,2–3,4 раза в сравнении с β' при парогазовой КЭС энергосистемы.

Таблица 1 – Расчетные характеристики системы теплоснабжения

Наименование показателя и единицы измерения	Температуры воды и место потерь на участках					
	78/46°C			130/70°C		
	нач.	средн.	конеч.	нач.	средн.	конеч
1. Диаметр участка d , мм	1000	800	450	1000	800	450
2. Прирост тепловых потерь на j -м участке $\delta Q_j^{\text{пот}}$, кВт	780	780	780	1354	1354	1354
3. Прирост тепловых потерь в системе $\delta Q_{\Sigma}^{\text{пот}}$, кВт	569,8	583,8	615,1	989,3	1013,6	1066,0
4. Снижение температуры воды δt , °C	0,1	0,2	0,63	0,18	0,35	1,1
5. Прирост расхода воды $\delta G_{\text{св}}$, кг/с	4,3	4,5	4,8	3,9	4,0	4,2
6. Увеличение мощности насоса $\delta N_{\text{сн}}$, кВт	43,1	61,8	116,2	39,5	56,4	107,5
7. Относительный прирост расхода теплоты топлива						
- β' при $\eta_{\text{Э}}^{\text{ПГУ-КЭС}} = 0,38$	0,5114	0,596	0,8285	–	–	–
- β' при $\eta_{\text{Э}}^{\text{ПГУ-КЭС}} = 0,57$	0,3409	0,3973	0,5523	–	–	–
- β'' при $\eta_{\text{ПК}} = 0,9$	–	–	–	1,151	1,1668	1,212

В заключение отметим, что схожая взаимосвязь потерь в тепловой сети и энергосистеме существует не только в системах теплофикации, но также характерна в условиях теплоснабжения от котельных. В этом случае относительный прирост расхода топлива всегда будет больше, чем при теплоснабжении из отборов ТЭЦ. Равенство величины β в условиях теплоснабжения от ТЭЦ и котельной достигается только в период работы пиковых водогрейных котлов теплоэлектроцентрали [1].

Литература

1. Взаимозависимость тепловых потерь в системах теплоснабжения и влияние их на топливную экономичность / Ю.Е. Николаев, А.И. Андрущенко // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2004. – № 3(4). – С 80 – 85.
2. Принципы создания высокоэкономичных систем централизованного теплоснабжения городов / А.И. Андрущенко, Ю.Е. Николаев, Б.А. Семенов, А.Г. Гордеев // Промышленная энергетика. 2003. – № 5. – С. 8 – 12.