

# Влияние температуры обратной сетевой воды на затраты теплоснабжающей организации в производстве тепловой энергии.

## Шматков А. Ю.

*Шматков Александр Юрьевич / Shmatkov Alexander Yurevich – магистрант,  
факультет прикладной математики и информационных технологий,  
Финансовый университет при Правительстве РФ, г. Москва*

**Аннотация:** в настоящей статье рассматривается влияние температуры обратной сетевой воды на затраты теплоснабжающей организации в производстве тепловой энергии; производится расчет КПД котла, выявляется зависимость между температурой уходящих газов и значениями КПД; производится расчет затрат на электроэнергию при увеличенном расходе теплоносителя.

**Ключевые слова:** температура обратной сетевой воды, КПД котла, температура уходящих газов, энтальпия, теплоноситель.

В настоящее время все чаще наблюдается завышение температуры обратной сетевой воды потребителем. Необходимо отметить, что повышенная температура обратной сетевой воды (завышение температуры обратной сетевой воды объектами теплоснабжения, вследствие увеличения объема подаваемой сетевой воды) непосредственно влияет на показатели работы системы теплоснабжения, влекущие за собой перерасход электрической энергии при транспортировке теплоносителя и повышенные затраты топлива на производство тепловой энергии за счет увеличенных объемов сетевой воды и снижения коэффициента полезного действия (далее КПД) котлоагрегатов.

Согласно «Правил организации теплоснабжения в Российской Федерации» (утв. Постановлением Правительства РФ от 8 августа 2012 г. N 808) [1], «Показатели качества теплоснабжения в точке поставки, включаемые в договор теплоснабжения, должны предусматривать температуру и диапазон давления теплоносителя в подающем трубопроводе. Температура теплоносителя определяется по температурному графику регулирования отпуска тепла с источника тепловой энергии, предусмотренному схемой теплоснабжения», а также «Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок» [2], которые гласят нам о том, что «Отклонение среднесуточной температуры воды, поступившей в системы отопления, вентиляции, кондиционирования и горячего водоснабжения, должно быть в пределах +/- 3 % от установленного температурного графика. Среднесуточная температура обратной сетевой воды не должна превышать заданную температурным графиком температуру более чем на 5 %» и «При эксплуатации систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения часовая утечка теплоносителя не должна превышать норму, которая составляет 0,25 % объема воды в системах с учетом объема воды в разводящих теплопроводах систем». Зачастую вышеизложенные Правила игнорируются потребителями, вследствие чего происходит завышение температуры обратной сетевой воды. Причина завышения температуры обратной сетевой воды – разрегулировка тепловой сети в связи с:

- 1) Имеется недостаточный теплосъем потребителями;
- 2) Несвоевременное проведение мероприятий по подготовке систем теплоснабжения и тепловой сети к работе;
- 3) Невыполнение работ управляющей организацией по очистке трубопроводной сети от накипи.

Бытует мнение об экономии топлива теплоснабжающей организацией (далее ТСО) в случае завышения обратной сетевой воды. Так ли это?

Когда котельная установка сдается в эксплуатацию, после окончания пуско-наладочных работ проводятся режимно-наладочные испытания, во время проведения которых выбираются оптимальные режимы работы основного и вспомогательного оборудования, составляется режимная карта работы котельной установки в соответствии температурным графиком, а также разрабатываются рекомендации, направленные на повышение экономичности работы котельной установки.

В случае, когда температура обратной сетевой воды превышает утвержденную, в температурном графике происходит нарушение температурного режима работы котлоагрегата, возникает неполная отдача теплоты теплоносителю продуктами сгорания, за счет чего повышается температура уходящих газов, что негативно влияет на КПД котельной установки.

Определение коэффициента полезного действия котла, в удельных величинах, % при КПД котла [3]:

$$\eta = 100 - (q_2 + q_3 + q_5) \quad (1),$$

где  $\eta$  – КПД котла,  $q_1$  – удельные потери с уходящими газами,  $q_3$  – химический недожог,  $q_5$  – потери тепла в окружающую среду через обмуровку (%).

Потери тепла с уходящими газами зависят от температуры газов, покидающих котел, их энтальпии, типа топлива и расхода воздуха.

$$q_2 = \frac{(I_{yx} - \alpha_{yx} \cdot I_{xe})}{Q_p^r} (2), \quad [3]$$

где:

$I_{yx}$  – энтальпия уходящих газов, кДж/м<sup>3</sup>,

$I_{xe}$  – энтальпия холодного воздуха (при температуре входящего воздуха) кДж/м<sup>3</sup>,

$\alpha_{yx}$  – коэффициент расхода воздуха уходящих газов,

$Q_p^r$  – располагаемая теплота сгорания газа на массу(объем) кДж/ м<sup>3</sup>,

Для проведения дальнейших расчетов, принимаем  $Q_p^r = 33\,916,64$  кДж/м<sup>3</sup>

для газа:

$Q_p^r = Q_i^d$ , где  $Q_p^r$  – низшая теплота сгорания газа кДж/м<sup>3</sup>.

Энтальпия воздуха, кДж/м<sup>3</sup> рассчитывается по следующей формуле:

$$I_g = \alpha \cdot V_g \cdot C_g \cdot t_g (3),$$

где:

$C_g$  – теплоемкость воздуха, м<sup>3</sup> \* °С, при температуре (холодного воздуха, справочно принято 20°С)

$V_g$  – теоретический объем воздуха.

$\alpha$  – коэффициент избытка воздуха (справочно принято 1,2), таким образом с помощью формулы (3)

рассчитаем энтальпию воздуха:

$$I_g = 1,2 \cdot 9,702 \cdot 1,3 \cdot 20 = 304,037 \text{ кДж/м}^3.$$

Энтальпия газообразных продуктов сгорания:

$$I_r^o = (V_{RO_2} \cdot C_{CO_2} + V_{N_2} \cdot C_{N_2} + V_{H_2O} \cdot C_{H_2O}) \cdot t_r (4),$$

Таблица 1. Объемы дымовых газов

	V, O <sub>2</sub>	V, CO <sub>2</sub>	V, H <sub>2</sub> O
Объем дымовых газов	2,0373895	1,029049	2,01975

В таблице 2 показана удельная теплоемкость газов при номинальной работе котельной установки и температуре уходящих газов 165°С.

Таблица 2. Удельные теплоемкости газов

CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	Свезд	N
1,75818	1,517415	1,305755	1,0478

При номинальной температуре уходящих газов котла - 165°С рассчитаем энтальпию газообразных продуктов сгорания, используя формулу (4):

$I_r^o = 2394,32$  кДж/(м<sup>3</sup>\*°С), при коэффициенте избытка воздуха равном 1;

$I_r^o = 2482,1$  кДж/(м<sup>3</sup>\*°С), при коэффициенте избытка воздуха равном 1,2.

Рассчитаем потери тепла с уходящими газами (2):

$$q_2 = (2482,1 - 304,038) \cdot 100 / 33916,64 = 6,422 \%$$

Энтальпия дымовых газов:

$$I_r = I_r^o + (\alpha - 1) \cdot V_g \cdot C_g \cdot t_r; (5)$$

Потери тепла с химическим недожогом:

$$q_3 = 0,1 \div 0,5 \%$$

Потери тепла от наружного охлаждения:

$$q_5 = q_5^H \cdot \frac{Q_{НОМ}}{Q_K},$$

$q_5^H$  определяется по графику (рис. 1), при  $Q_{НОМ}$  котла МВт = 0,65.

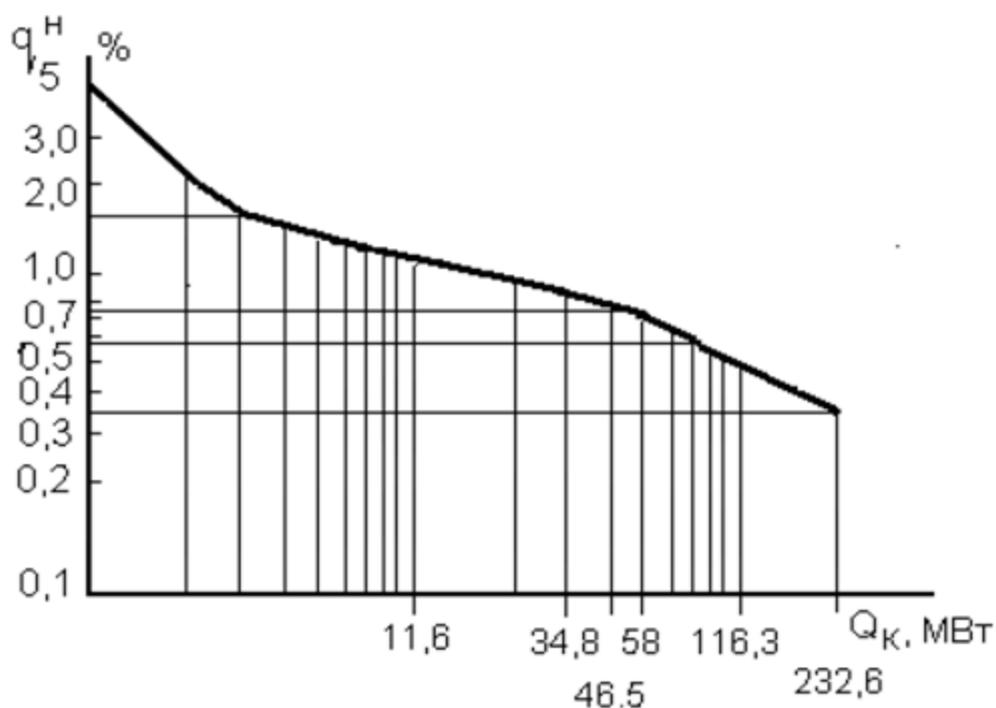


Рис. 1. Зависимость потерь тепла от выработанного тепла

КПД котельного агрегата, при температуре уходящих газов - 165°C получаем из формулы (1):

$$\eta = 100 - (6,422 + 0,3 + 0,65) = 92,63 \%$$

В таблице 3 приведены значения КПД котла при повышении температуры уходящих газов:

Таблица 3. Изменения значений КПД котла при повышении темп. уход. газов

Значение температуры, °C	165	170	175	180	185
КПД, %	92,63	92,403	92,178	91,953	91,728

Как видно из таблицы, при увеличении температуры уходящих газов КПД котла снижается.

В температурном графике, разработанным и утвержденным ТСО, имеется показатель обратной температуры теплоносителя, которого должны придерживаться потребители.

Ненадлежащее соблюдение температурного графика потребителями влечет за собой увеличение расходов ТСО на производство и транспортировку воды теплоносителем, завышение температуры обратной сетевой воды, возникающее при недостаточном теплосъеме потребителем, приводит к росту расхода воды в теплосетях, что в свою очередь влечет за собой увеличение расхода электрической энергии на транспортировку воды теплоносителем по тепловым сетям и также негативно сказывается на надежности системы теплоснабжения в целом.

В случае если работа теплосети соответствует утвержденному температурному графику, расход воды - величина постоянная.

На следующем этапе стоит обратить внимание на влияние температуры обратной сетевой воды на расход электрической энергии и объем подачи теплоносителя.

Зависимость основана на расчете количества тепловой энергии на производстве разницы температур теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе и расхода теплоносителя, поступившего в тепловую сеть:

$$Q = M_1 \cdot 1000 \cdot c \cdot (t_1 - t_2) \text{ Гкал.} \quad (6)$$

где:

Q - количество тепловой энергии, поставленное потребителю, Гкал,

M<sub>1</sub> - расход теплоносителя в подающем трубопроводе за отчетный период по показаниям узла учета тепловой энергии (далее УУТЭ), м<sup>3</sup>/ч,

$t_1$  - средняя температура воды в подающем трубопроводе за отчетный период по показаниям УУТЭ, °С;

$t_2$  - средняя температура воды в обратном трубопроводе за отчетный период по показаниям УУТЭ, °С;  
 $c$  - теплоемкость, принимается равной 1 ккал/кг °С;

1000 – переводной коэффициент.

Объем циркуляции равен 4000 м<sup>3</sup>/ч, температурный график - 120/70 °С, рассчитаем количество тепловой энергии по формуле (6):

$$Q = 4000 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (120 - 70) = 200 \text{ Гкал/ч}$$

$$Q = 4000 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (120 - 71) = 196 \text{ Гкал/ч}$$

Рассчитаем расход воды при завышении температуры обратной сетевой воды на 1 °С (Пример 1), исходя из формулы (6).

Пример 1:

$$t_2 = 71 \text{ °С}$$

$$Q = 200 \text{ Гкал/ч}$$

$$Q = M_1 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot 49$$

$$M_1 = 200 / (1000 \cdot 1 \cdot 49)$$

$$M_1 = 4081,63 \text{ м}^3.$$

Из этого следует, что, поддерживая температурный график на теплоисточнике по подающему трубопроводу в графике 120/70 °С, за счет дополнительного объема сетевой воды будут увеличены издержки на подготовку и передачу дополнительно 81,6 м<sup>3</sup> теплоносителя.

Пример 2: в случае если объем циркуляции завышен и составляет (справочно) 4500 м<sup>3</sup>/ч, а тепло потребляющая установка не изменилась, т. е. также потребляет 200 Гкал/ч, можно определить разность температур при данных условиях по формуле  $(t_1 - t_2) = Q / (M_1 \cdot c \cdot 0,001^1)$ , °С:

$$(t_1 - t_2) = 200 / (4500 \times 1 \times 0,001) = 44,4 \text{ °С.}$$

$$(t_1 - t_2) = 44,4 \text{ °С, где}$$

температура обратного трубопровода:

$$t_2 = 120 - 44,4 = 75,6 \text{ °С,}$$

что дает нам отклонение от температурного графика 75,6-70=5,6°С или 8 % (более чем на 3 % выше допустимого).

Теперь рассчитаем издержки.

Оборудование:

- Насос 1Д 1600-90-4 шт. (630 кВт, 9кгс/см<sup>2</sup>, 1600 м<sup>3</sup>/ч).
- Число часов использования двух насосов 1Д 1600-90<sup>2</sup> - 8760 часов (365 дней).
- Два насоса 1Д 1600-90 подключаются для поддержания подачи в заданном режиме (4000-4500 м<sup>3</sup>/ч) и покрытия пиковых нагрузок.

Исходные данные:

- Подача (усредненная) 4000 м<sup>3</sup>.
- Температурный график 120/70.
- При средней температуре отопительного сезона г. Москва - 2°С, что соответствует температуре воды в трубопроводе подачи 83 °С, температуре воды в обратном трубопроводе - 56 °С.

- Объем годового отпуска тепловой энергии - 679 425,167 Гкал;

$$Q = M_1 \cdot 1000 \cdot c \cdot (t_1 - t_2) \text{ Гкал/ч.}$$

$$679\,425,167 = M_1 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot (83-56),$$

$$679\,425,167 \cdot 10^6 = M_1 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot 27.$$

$$\text{Г. о расход теплоносителя, } M_1 = 25\,163\,895,07 \text{ м}^3.$$

$$\text{При «прямом» проверочном пересчете } 4000 \cdot 8760 = 35\,040\,000 \text{ м}^3$$

Затраты на перекачку дополнительного объема теплоносителя, в год:

$$81,6 \text{ м}^3 \cdot 8760 \text{ ч} = 714\,816 \text{ м}^3 \text{ в год.}$$

Рассчитаем количество часов работы насоса:

$$714\,816 / 1600 = 446,76 \text{ часов работы насоса (1Д 1600-90 - 4 шт., с мощностью 630 кВт)}$$

$$446,76 \cdot 4 \cdot 630 = 1\,125\,835,2 \text{ кВт*ч;}$$

При стоимости 3,87 руб. за кВт\*ч, затраты составят:

$$1\,125\,835,2 \cdot 3,87 = 4\,356\,982,2 \text{ руб.}$$

Вывод: по результатам исследования было выявлено влияние, выраженное в рублевом эквиваленте, температуры обратной сетевой воды на затраты ТСО. Дополнительные затраты на дополнительный расход электроэнергии составили порядка 4,5 млн. руб. Помимо этого, была показана косвенная зависимость температуры обратной сетевой воды на КПД котла через температуру уходящих газов.

<sup>1</sup> коэффициент

<sup>2</sup> 1600 – подача (м<sup>3</sup>/ч), 90 – напор (м)

### *Литература*

1. Постановление Правительства РФ от 8 августа 2012 г. № 808 «Об организации теплоснабжения в Российской Федерации и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации».
2. Приказ Минэнерго РФ от 24.03.2003 N 115 «Об утверждении Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок» (Зарегистрировано в Минюсте РФ 02.04.2003 N 4358).
3. Тепловой расчет котлов (Нормативный метод) - Издание 3 перераб. и доп. - СПб.: Изд. НПОЦКТИ, 1998 - 256 с.