

УДК 621.6

Оптимизация температурного графика магистральных трубопроводов при надземной прокладке

А. В. Корягин

Сведения об авторе

Корягин Анатолий Викторович — кандидат технических наук, доцент кафедры Теплообменных процессов и установок МЭИ, e-mail: KorjaginAV@yandex.ru

Рассмотрена оптимизация режима работы существующих отопительных тепловых сетей при надземной прокладке за счет изменения температурного графика подачи теплоты.

Основная масса крупных потребителей получают тепло по тепловым сетям от местных котельных или ТЭЦ, которые работают по температурным графикам, определенным при их проектировании. С течением времени количество потребителей значительно меняется, меняются их нагрузки, количество теплоты, передаваемое тепловой сетью. Новые нагрузки покрываются за счет увеличения мощностей источников теплоснабжения, при этом тепловые сети не меняются. Все это приводит к неоптимальному использованию топливных ресурсов и увеличению затрат энергии на передачу тепла. Рациональная организация теплоснабжения в условиях увеличения роста теплотребления позволит добиться снижения затрат на передачу тепла.

Целью является снижение финансовых или энергетических затрат на передачу тепла по магистральным сетям. В их состав включаются затраты электроэнергии на перекачку теплоносителя, затраты, связанные с потерями тепла через изоляцию трубопроводов и с утечками теплоносителя. Величины потерь тепла и затраты на перекачку теплоносителя определяются в соответствии с действующими нормативными документами. Получено соотношение для определения оптимальной температуры теплоносителя в подающем трубопроводе тепловой сети. Полученная температура обеспечивает минимум финансовых или энергетических затрат при надземной прокладке трубопроводов. Расчет проводился по параметрам, средним за отопительный период (средняя температура отопительного сезона, тепловая нагрузка и т.д.). Приведен пример расчета оптимального температурного графика.

Ключевые слова: тепловая сеть, температурный график, потеря тепла, энергетические и финансовые затраты.

Optimizing the temperature schedule of overground heat mains

A. V. Koryagin

Information about author

Koryagin Anatoliy V. — Ph.D. (Techn.), Assistant Professor of Heat-and-Mass Transfer Processes and Installations Dept., MPEI, e-mail: KorjaginAV@yandex.ru

An approach to optimizing the operating mode of existing overground district heating networks by modifying the heat supply temperature schedule is considered.

The majority of large consumers receive heat via the heat networks from local boiler houses or combined heat and power stations, which operate according to the temperature schedules defined in designing them. As time passes, the number of customers changes considerably, and so are their loads and the amount of heat transmitted via the heat network. New loads are covered by increasing the capacity of heat sources, whereas the heat networks remain unchanged. As a result, the fuel resources are utilized in a nonoptimal manner, and more energy is spent for transmission of heat. The rational organization of heat supply under the conditions of growing heat consumption will make it possible to reduce costs for transmission of heat.

The aim is to reduce the financial or energy costs for transmission of heat via the heat mains. These costs include the cost of electricity for pumping the heat carrier, the costs due to loss of heat through the insulation of pipelines, and costs due to heat carrier leaks. The values of heat losses and the costs for pumping heat carrier are determined in accordance with applicable regulations. A relation for determining the optimum heat carrier temperature in the heat network's delivery pipeline is derived. Operating the overground heat mains at the optimal temperature determined from the proposed relation will make it possible to achieve the minimal financial or energy costs. The calculation was carried out using the parameters averaged over the heating period (the average heating season temperature, the average heat load, etc.). An example of calculating the optimal temperature schedule is given.

Key words: heat network, temperature schedule, heat loss, energy and financial expenditures.

Множество городов и поселков в России отапливается от местных котельных или ТЭЦ, которые работают по графикам, определенным при их проектировании. При этом сами населенные пункты значительно увеличились с того времени и, следовательно, намного возросло и количество потребителей теплоты, подсоединенных к системе централизованного теплоснабжения. Новые нагрузки покрываются за счет увеличения мощностей источников теплоснабжения. Все это приводит к неоптимальному использованию топливных ресурсов и увеличению стоимости энергии. Рациональная организация теплоснабжения в условиях увеличения роста теплотребления позволит добиться снижения затрат на передачу тепла.

Эти затраты возникают вследствие потерь теплоты через тепловую изоляцию, потребления электрической энергии на перекачивание теплоносителя по сети, потерь теплоты с утечками теплоносителя; затрат на химводоподготовку, на прокладку новых участков тепловых сетей, на замену и капитальный ремонт участков тепловой сети, выработавших свой ресурс и др. Существенно уменьшить эти затраты можно за счет оптимизации функционирования тепловых сетей.

В работе [1] рассмотрен вопрос оптимизации режимов для тепловой сети при подземной прокладке трубопроводов. В данной статье рассматривается оптимизация теплового режима работы существующей тепловой сети при надземной прокладке. Так проложено около 10% тепловых сетей.

Основными затратами при передаче тепла потребителям являются:

- потери тепла через изоляцию трубопроводов и с утечками;
- утечки теплоносителя;
- затраты электроэнергии на привод насосов, перекачивающих теплоноситель.

Соответственно, финансовые расходы могут быть выражены формулой:

$$Z_1 = C_{ТЭ} (Q_{ИЗ} Q_{УТ}) + C_Э E + C_{ТН} M_{УТ},$$

где Z_1 — финансовые расходы на передачу тепловой энергии, руб.; $C_{ТЭ}$ — тариф на тепловую энергию, руб./Дж; $Q_{ИЗ}$ — потери тепловой энергии через тепловую изоляцию трубопроводов, Дж; $Q_{УТ}$ — потери тепловой энергии с утечками теплоносителя, Дж; $C_Э$ — тариф на электрическую энергию, руб./Дж; E — затраты электрической энергии на прокачку теплоносителя, Дж; $C_{ТН}$ — тариф на теплоноситель, руб./кг; $M_{УТ}$ — затраты теплоносителя на восполнение объема теплоносителя, потерянного с утечками, кг.

Аналогично финансовым затратам могут быть оптимизированы затраты энергетические, которые выражаются формулой:

$$Z_2 = b_{УД}^{ТЭ} (Q_{ИЗ} + Q_{УТ}) + b_{УД}^{ЭЭ} E,$$

где Z_2 — расходы топлива, связанные с передачей тепловой энергии, г у.т.; $b_{УД}^{ТЭ}$ — удельный расход топлива на производство тепловой энергии, г у.т./Дж; $b_{УД}^{ЭЭ}$ — удельный расход топлива на производство электрической энергии, г у.т./Дж.

В общем виде формула выглядит следующим образом:

$$Z = k_1 (Q_{ИЗ} + Q_{УТ}) + k_2 E + k_3 M_{УТ}, \quad (1)$$

где $Z = Z_1$, $k_1 = C_{ТЭ}$, $k_2 = C_Э$, $k_3 = C_{ТН}$ — в случае оптимизации финансовых затрат; $Z = Z_2$, $k_1 = b_{УД}^{ТЭ}$, $k_2 = b_{УД}^{ЭЭ}$, $k_3 = 0$ — при оптимизации энергетических затрат.

Одним из методов оптимальной организации теплоснабжения является оптимизация температурного графика тепловой сети, т.е. выбор оптимальной температуры прямой сетевой воды. При изменении температурного графика будет перераспределение затрат — при повышении температуры увеличатся потери тепла и снизятся затраты электроэнергии на перекачку теплоносителя (за счет изменения расхода сетевой воды) и наоборот — при выборе температурного графика со сниженной температурой прямой сетевой воды.

Расчет потерь тепла и расход электроэнергии на прокачку теплоносителя производится по известной методике [2, 3].

Потери тепла через изоляцию для наземной прокладки определяются по формуле:

$$Q_{ИЗ} = \Sigma (q_{ИЗ} L \beta) n, \quad (2)$$

где $q_{ИЗ}$ — удельные часовые тепловые потери трубопроводами каждого диаметра при средней температуре отопительного сезона, Вт/м; L — длина участка трубопроводов тепловой сети, м; β — коэффициент, учитывающий местные тепловые потери; n — продолжительность отопительного сезона, ч.

При изменении температурного графика величина удельных потерь тепла $q_{ИЗ}$ пересчитывается по формуле:

$$q_{ИЗ1} = q_{ИЗ} \frac{t_{1СР} - t_{СР.О.}}{t_{1СР.ИСХ} - t_{СР.О.}},$$

где $t_{1СР.ИСХ}$ — температура теплоносителя при средней температуре воздуха за отопительный сезон при исходном температурном графике, °С; $t_{1СР}$ — то же, при измененном температурном графике, °С; $t_{СР.О.}$ — средняя температура воздуха за отопительный сезон, °С.

Определение нормативных технологических потерь тепловой энергии, Вт, обусловленных потерями теплоносителя производится по формуле [3]:

$$Q_{УТ} = m_{УТН} c_p [b \tau_{1год} + (1 - b) \tau_{2год} - \tau_{х.год}] n, \quad (3)$$

где $m_{УТН}$ — норма утечки теплоносителя, кг/ч, установленная правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей, а также правилами технической эксплуатации тепловых энергоустановок, в

пределах 0,25% емкости трубопроводов тепловых сетей в час; c_p — удельная теплоемкость теплоносителя, Дж/кг $^{\circ}$ С; b — доля массового расхода теплоносителя, теряемого подающим трубопроводом тепловой сети (при отсутствии данных можно принимать от 0,5 до 0,75); $\tau_{1\text{год}}$, $\tau_{2\text{год}}$ — среднегодовые значения температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети по температурному графику регулирования тепловой нагрузки, $^{\circ}$ С; $\tau_{x\text{год}}$ — среднегодовое значение температуры исходной воды, подаваемой на источник теплоснабжения и используемой для подпитки тепловой сети, $^{\circ}$ С.

Затраты электроэнергии на перекачку теплоносителя определяются по формуле:

$$E = (G\Delta p n) / (\eta_n \eta_{np} \rho), \quad (4)$$

где G — расход теплоносителя в тепловой сети, кг/с; Δp — падение давления в трубопроводе, Па; η_n , η_{np} — КПД насоса и электропривода; ρ — плотность теплоносителя при средней температуре теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети, кг/м 3 .

Расход теплоносителя в тепловой сети определяется из теплового баланса:

$$G = \frac{Q}{c_p (t_1 - t_2)},$$

где Q — тепловая нагрузка; t_1 , t_2 — температуры прямой и обратной сетевой воды.

Падение давления в трубопроводе определяется по формуле:

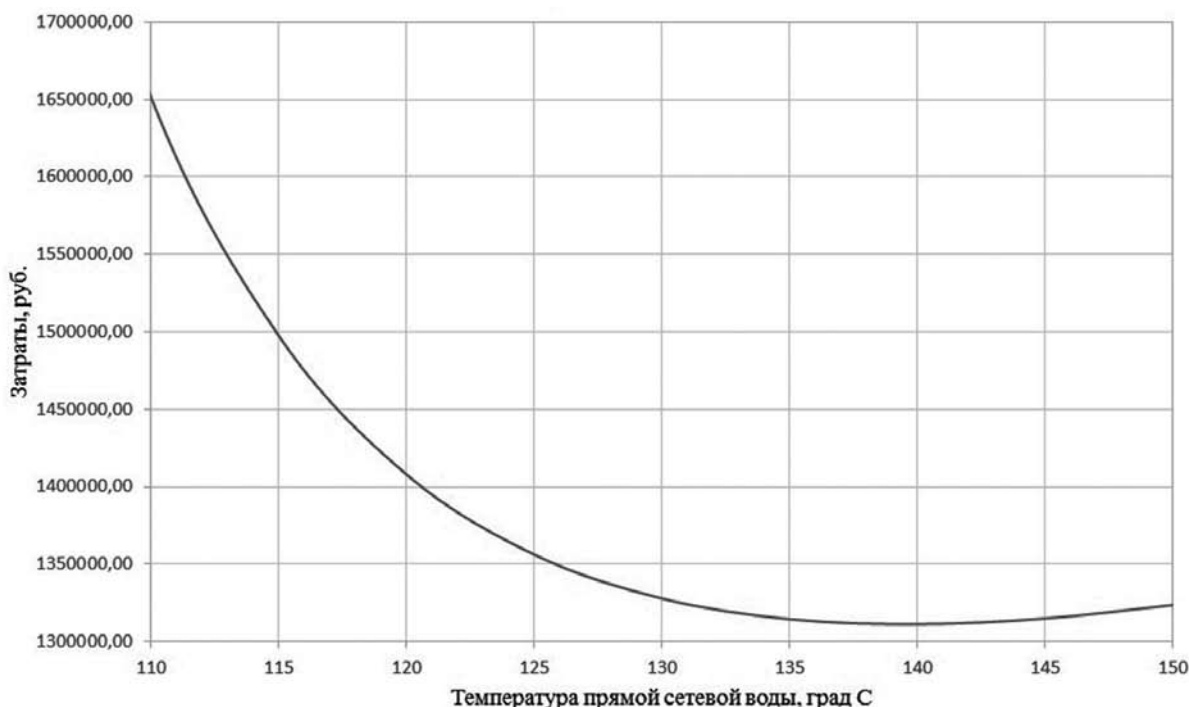
$$\Delta p_{\lambda} = 2R_{\lambda}L,$$

где R_{λ} — удельное падение давления, определяемое по формуле Дарси, Па/м; L — расстояние от источника тепла до потребителя, м.

Подставив в (1) зависимости (2) — (4) для определения величин потерь тепла и затрат на прокачку теплоносителя, продифференцировав полученную функцию по температуре прямой сетевой воды и приравняв полученное выражение к нулю, получим:

$$t_1 = \sqrt[4]{\frac{9,744Q^3\lambda k_2}{\eta_n \eta_{np} \rho^2 c_p^3 \bar{Q}_0^3 d^5}} \times \sqrt[4]{\frac{1}{\left(1,73 \cdot 10^{-7} \pi d^2 \rho \left((2b-1)\bar{Q}_0 + \bar{Q}_0^{0,8}\right) + \beta \left(\frac{q_{\text{норм}}^{\text{под}}}{t_{\text{ср.исх}} - t_{\text{ср.о.}} \left(\bar{Q}_0 + \bar{Q}_0^{0,8}\right) + \frac{q_{\text{норм}}^{\text{обр}}}{t_{\text{ср.исх}} - t_{\text{ср.о.}} \left(\bar{Q}_0^{0,8} - \bar{Q}_0\right)\right)\right)}}} + t_2,$$

где λ — коэффициент гидравлического трения; d — внутренний диаметр трубопровода, м; η_n , η_{np} — КПД насоса и электропривода; ρ — плотность теплоносителя при средней температуре теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети, кг/м 3 , определяется по [4]; c_p — теплоемкость теплоносителя, кДж/кг $^{\circ}$ С; $t_{\text{ВН}}$ — расчетная температура воздуха отапливаемых помещений, $^{\circ}$ С; t_p — расчетная температура наружного воздуха, $^{\circ}$ С; $\bar{Q}_0 = \frac{t_{\text{ВН}} - t_{\text{ср.о.}}}{t_{\text{ВН}} - t_p}$



Финансовые затраты на потери тепла и прокачку теплоносителя при различных температурных графиках

относительная величина тепловой нагрузки при средней температуре наружного воздуха за отопительный сезон; b — доля массового расхода теплоносителя, теряемого подающим трубопроводом тепловой сети; $q_{\text{исх}}^{\text{ПОД}}$, $q_{\text{исх}}^{\text{ОБР}}$ — удельные потери пепла через изоляцию в подающем и обратном трубопроводе при исходном температурном графике, Вт/м.

Для оценки точности полученной формулы был проведен расчет затрат при различных температурных графиках.

Данные для расчета приведены в таблице.

Результаты расчета показаны на рисунке. Величина оптимальной температуры, найденная по формуле (137,5 °С) совпала с минимумом на графике затрат.

Таким образом, полученная формула позволяет выбрать оптимальный температурный график для тепловой сети при изменении цен на теплоту и электроэнергию.

Литература

1. **Корягин А.В., Деркач А.Н.** Определение оптимальной температуры прямой сетевой воды // Энергосбережение и водоподготовка. 2008. № 3 (53). С. 61 — 62.
2. **Соколов Е.Я.** Теплофикация и тепловые сети. М.: Изд-во МЭИ, 2001.

Данные для расчета тепловой сети

Параметр	Значение
Район прокладки	г. Москва
Диаметр трубопровода, мм	600
Год прокладки	1981
Исходный температурный график	105/70
Исходная тепловая нагрузка, Гкал/ч	24,3
Длина тепловой сети, м	1000
Тариф на тепловую энергию в горячей воде, руб./Гкал	651,29
Тариф на электрическую энергию, руб./МВт·ч	919,84

3. **Инструкция** по организации в Минэнерго России работы по расчету и обоснованию нормативов технологических потерь при передаче тепловой энергии // Приказ Министерства энергетики РФ от 30 декабря 2008 г. № 325.

4. **Манюк В.И. и др.** Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей. М.: ЛИБРОКОМ, 2009.

Статья поступила в редакцию 02.06.2016