

Повышение энергетической эффективности тепловой сети

Л. И. Жмакин^{*}, Н. М. Шарпар^{*,1}, Е. О. Полуцыган^{*}

** Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Москва, Россия*

Аннотация

Для тепловой сети проведен анализ эффективности, описывающий ее зависимость от температуры окружающей среды, расхода теплоносителя и температурного графика. Показано, что эффективность транспорта теплоты может быть повышена посредством применения современных материалов в качестве тепловой изоляции, оптимизации количественного и качественного регулирования по расходу теплоносителя в трубопроводах и снижения потребления энергии сетевыми насосами.

Сформулирован безразмерный комплекс, с использованием которого найдены двумерные критериальные зависимости для показателя эффективности, позволяющие выбирать режимные параметры тепловой сети. Предложен графический метод поиска оптимального расхода теплоносителя на основе нормативных значений эффективности; что позволило обоснованно выбирать диаметры сетевых трубопроводов и увязывать их значения с допустимой потерей напора.

Приведены функциональные зависимости расходных характеристик по методу количественного регулирования. Для тепловых сетей они могут использоваться, при компьютерном моделировании и оптимизации их параметров, включая оптимизацию электрических и тепловых потерь, возникающих в насосах, установленных в сети.

Ключевые слова

Коэффициент эффективности, термическое сопротивление, линейные потери тепла, температурный график, тепловая сеть, расход теплоносителя, расходные характеристики, методы регулирования.

¹ Для переписки:

Email: sharpar753@mail.ru

Введение

На предприятиях и объектах жилищно-коммунального хозяйства источники и потребители теплоты, как правило, разнесены в пространстве и имеют трубопроводные связи, в которых происходят заметные потери тепла, не только вследствие процесса теплообмена с внешней средой, но и благодаря утечкам теплоносителей. Тепловые сети (ТС) являются наиболее неблагоприятным звеном в системах централизованного теплоснабжения и отличаются недостаточной эффективностью и высокой аварийностью, связанной с их физическим износом. Решить данную проблему можно за счет перехода на более совершенную тепловую изоляцию (ТИ), управление гидравлическими режимами трубопроводов и определение обоснованных графиков регулирования тепловых нагрузок. Перечисленные пункты позволят ТС без внесения значительных капиталовложений достичь значительного роста эффективности систем теплоснабжения [1–3].

Отапливаемые помещения обладают комфортными условиями при температуре 18...20°C. Тогда при известных термических сопротивлениях ограждений можно найти тепловой поток, который необходим при поддержании данной температуры. Для источников тепловой энергии (ТЭ) этот поток устраивается однозначно по расходу G теплоносителя и по разности его температур ΔT в подающей и обратной линиях ТС. При этом в экономические издержки источника входят стоимость топлива и эксплуатационные расходы, в том числе, затраты электроэнергии на привод насосов, обеспечивающих циркуляцию воды по ТС и в тепловых пунктах, содержащих теплообменное оборудование.

В качестве меры эффективности транспорта теплоты в литературе [1, 4–6]

рекомендуется использовать КПД ТС, который определяется по соотношению

$$\eta = Q_0/Q_i, \quad (1)$$

где Q_i — мощность, отпущенная источником теплоты, а Q_0 — та ее часть, которая дошла до потребителя. При условии, что линейные тепловые потери (ТП) обозначить через Q_l , то формулу (1) можно записать как

$$\eta = 1 - Q_l/Q_i. \quad (2)$$

Величина ТП Q_l зависит от теплофизических свойств ТИ [7], способа прокладки и конфигурации теплотрассы, температурного графика (ТГ) ТС и температуры окружающей среды (ОС) [1, 3, 4]. На эффективность сети оказывают также влияние расходы теплоносителей и удельные затраты электроэнергии на передачу ТЭ [8–10]. Потери также связаны с недостатками в сетевых распределительных системах воды и несовершенством автоматики, когда отдельные потребители получают излишнюю теплоту и, не имея средств индивидуального регулирования, сбрасывают ТЭ в ОС.

Методика расчета эффективности транспорта теплоты

Рассмотрим наиболее распространенный вариант, когда источник ТЭ объединен с потребителем двухтрубной теплотрассой (рисунок 1) [11] и введем обозначение концевых температур теплоносителей: t_1 и t_1' — на подающей линии и t_2 и t_2' — на обратной.

Запишем элементарный баланс тепла для участка сетевого трубопровода длиной dx

$$Q(x) = Q(x + dx) + \frac{1}{R}(t - t_0)dx, \quad (3)$$

где R — удельное тепловое сопротивление от теплоносителя к ОС с температурой t_0 при теплопередаче.

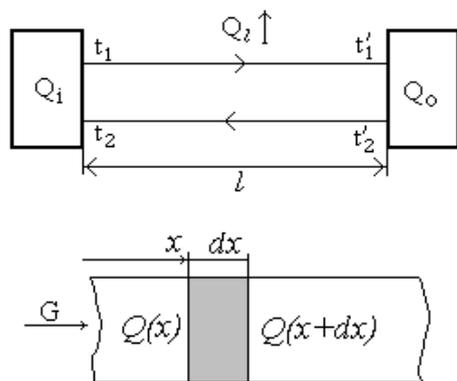


Рисунок 1 — Расчетные схемы двухтрубной ТС и элемента ее трубопровода

Тогда для теплового потока запишем дифференциальное уравнение, изменяющееся вдоль трубопровода

$$\frac{dQ}{dx} = \frac{d}{dx}(c_p G t) = -\frac{1}{R}(t - t_0), \quad (4)$$

в котором G — расход (без учета утечек), c_p — изобарная теплоемкость и t — температура теплоносителя.

Пренебрегая в (4) температурными зависимостями c_p и R , получим

$$\frac{dt}{dx} = -\frac{1}{c_p R G}(t - t_0).$$

Его решение можно описать посредством изменения температуры теплоносителя по длине трубопровода

$$t = t_0 + (t_1 - t_0) \cdot \exp\left\{-\frac{x}{c_p R G}\right\}.$$

При частной ситуации, на конце подающего трубопровода при $x = l$

$$t'_1 = t_0 + (t_1 - t_0) \cdot \exp\left\{-\frac{l}{c_p R G}\right\}. \quad (5)$$

В обратном трубопроводе ситуация аналогичная

$$t_2 = t_0 + (t_2' - t_0) \cdot \exp\left\{-\frac{l}{c_p R G}\right\}. \quad (6)$$

Поток ТЭ, поступивший к потребителю, расходуется на горячее водоснабжение с тепловым потоком $Q_{гв}$ и на стабилизацию нормативной температуры t_N отапливаемого помещения с полным тепловым сопротивлением R_0 . В соответствии с

условием баланса для тепловых потоков можно записать

$$Q_{гв} + \frac{t_N - t_0}{R_0} = c_p G(t'_1 - t'_2). \quad (7)$$

При заданных физических параметрах ТС уравнения (5)–(7), полное тепловое сопротивление потребителя и температура t_N отапливаемого помещения объединяет следующие переменные: $t_1, t_2, t'_1, t'_2, t_0, G$. Из-за того, что расход ТЭ, идущий на горячее водоснабжение, относят к величине, мало изменяющейся с течением времени, то в первом приближении ее принимают постоянной. Для заданного ТГ сети (к примеру, 130/70°C) число переменных снижается: t'_1, t'_2, t_0, G . Температура ОС t_0 обладает зависимостью от погодных условий, что позволяет ей изменяться в течение суток в существенных диапазонах, в особенности, при континентальном климате. При этом величина t_0 относится к управляющему параметру, задание которого позволяет по системе балансовых уравнений (5)–(7) определить массовый расход теплоносителя и его температуры t'_1, t'_2 .

Проведем теперь анализ соотношений (5)–(7), как характеристику потребителя ТЭ с учетом дифференциальных потерь

$$q_d = -dQ_0/dt_0,$$

Они относятся к росту потребления ТЭ при снижении температуры ОС на 1°C. Как известно, линейные ТП, устремленные вдоль подающего трубопровода, устанавливаются в соответствии с интегралом

$$Q_{1l} = \int_0^l \frac{t - t_0}{R} dx. \quad (8)$$

Выполним подстановку в уравнение (8) полученного решения (4)

$$Q_{1l} = \frac{t_1 - t_0}{R} \int_0^l \exp\left\{-\frac{x}{c_p R G}\right\} dx.$$

Проведя интегрирование по координате x , запишем

$$Q_{1l} = (t_1 - t_0)c_p G \times \left(1 - \exp\left\{-\frac{l}{c_p R G}\right\}\right). \quad (9)$$

Температуру вдоль трубопровода, найдем как

$$\tau_1 = \frac{1}{l} \int_0^l t(x) dx. \quad (10)$$

В уравнение (10) подставим полученное решение (4) и определим

$$\tau_1 = t_0 + (t_1 - t_0) \frac{1}{l} \int_0^l \exp\left\{-\frac{x}{c_p R G}\right\} dx.$$

Отсюда, проведя интегрирование по координате x , запишем

$$\tau_1 = t_0 + (t_1 - t_0) \frac{c_p R G}{l} \times \left(1 - \exp\left\{-\frac{l}{c_p R G}\right\}\right). \quad (11)$$

Согласно записанным формулам (9) и (11) вытекает, что

$$Q_{1l} = \frac{l}{R} (\tau_1 - t_0).$$

Запишем содержащийся в формулах (5), (6), (9) и (11) член $\frac{l}{c_p R G}$ в виде безразмерной переменной z :

$$z = \frac{l}{c_p R G}.$$

В соответствии с формулами (5) и (11), следует:

$$t'_1 - t_0 = (t_1 - t_0)e^{-z}, \quad (12)$$

$$\tau_1 - t_0 = (t_1 - t_0) \frac{1}{z} (1 - e^{-z}). \quad (13)$$

Исключим из уравнений (12) и (13) экспоненту e^{-z} и получим:

$$t_1 - t'_1 = z(\tau_1 - t_0).$$

Подстановка переменной z приведет к следующему виду:

$$c_p G(t_1 - t'_1) = \frac{l}{r} (\tau_1 - t_0). \quad (14)$$

Полученное уравнение (14) является законом сохранения энергии для подающего трубопровода, в нем ТП найдены через среднюю температуру поступающего теплоносителя.

С учетом ТП, относящихся к участкам ТС без ТИ, содержащих арматуру, модифицируем полученные формулы и запишем линейные потери в виде:

$$Q_{1l} = \frac{l(1 + \beta)}{R} (\tau_1 - t_0), \quad (15)$$

здесь β является нормативным коэффициентом местных ТП [1, 4, 5]. Тогда (14) преобразуется к следующему виду:

$$c_p G(t_1 - t'_1) = \frac{l(1 + \beta)}{R} (\tau_1 - t_0). \quad (16)$$

Для обратного трубопровода можно выполнить аналогичные вычисления

$$t_2 - t_0 = (t'_2 - t_0)e^{-z}, \quad (17)$$

$$\tau_2 - t_0 = (t'_2 - t_0) \frac{1}{z} (1 - e^{-z}). \quad (18)$$

Вдоль обратного трубопровода ТП описываются формулой

$$Q_{2l} = \frac{l(1 + \beta)}{R} (\tau_2 - t_0), \quad (19)$$

где τ_2 — средняя величина температуры теплоносителя, перемещающегося вдоль трубопровода. Тогда закон сохранения энергии примет вид:

$$c_p G(t'_2 - t_2) = \frac{l(1 + \beta)}{R} (\tau_2 - t_0). \quad (20)$$

Сумма потерь (15) и (19) представляет из себя ТП вдоль всей теплотрассы:

$$Q_l = \frac{2l(1 + \beta)}{R} (\tau - t_0), \quad (21)$$

Где $\tau = (\tau_1 + \tau_2)/2$ — среднее значение температуры теплоносителя по всей теплотрассе.

В единицу времени отпущенная источником ТЭ может быть определена по теплоемкости c_p поставляемого теплоносителя и по его массовому расходу G

$$Q_i = c_p G(t_1 - t_2). \quad (22)$$

Приобретенная потребителем ТЭ определяется, как

$$Q_0 = c_p G(t'_1 - t'_2).$$

Проведя суммирование почленно выражений (16) и (20), придем к закону сохранения энергии для двухтрубной ТС

$$Q_i = Q_0 + \frac{2l(1 + \beta)}{R} (\tau - t_0). \quad (23)$$

Линейные ТП, содержащиеся в формуле (23), обладают зависимостью от разности температур $\tau - t_0$. При этом средняя температура τ находится в зависимости от расхода поставляемого теплоносителя в течение некоторого времени. Для поиска данных зависимостей используем полученные ранее соотношения. Так, по формуле (15) установим разность следующих температур $t_2' - t_0$, а затем выполним ее подстановку в (18), что в результате позволит получить следующий вид

$$\tau_2 - t_0 = (t_2 - t_0) \frac{1}{z} (e^z - 1). \quad (24)$$

Выполнив почленное суммирование равенств (13) и (24), получим

$$\begin{aligned} \tau - t_0 &= (t_1 - t_0) \frac{1}{2z} (1 - e^{-z}) + \\ &+ (t_2 - t_0) \frac{1}{2z} (e^z - 1), \end{aligned}$$

или, добавив гиперболические функции, запишем результат, как

$$\begin{aligned} \tau - t_0 &= (\tau_0 - t_0) \frac{sh(z)}{z} + \\ &+ (t_1 - t_2) \frac{1 - ch(z)}{2z}. \end{aligned} \quad (25)$$

Формула (23) объединяет отпущенную тепловым источником и полученную потребителем ТЭ с энергией, потерянной при поставке теплоносителем в сети, и относится к условию баланса. При этом она является полным аналогом формулы (7). Добавив соотношение для определения коэффициента энергетической эффективности (ЭЭ) ТС (2) в формулу (23) с разностью температур (25), запишем

$$\begin{aligned} \eta(z, t_0) &= 1 - (1 + \beta) \times \\ &\times \left(1 - ch(z) + 2sh(z) \cdot \frac{\tau_0 - t_0}{t_1 - t_2} \right) \end{aligned} \quad (26)$$

Здесь $\tau_0 = 0.5(t_1 + t_2)$.

Формула (26) позволяет установить зависимость коэффициента ЭЭ η от ТГ и от температуры ОС. Если в соответствии со стандартом [5] η будет соответствовать рекомендованному значению, к примеру, 0,94, то формула (26) преобразуется к

балансовому уравнению, согласно которому возможно определить секундный расход транспортируемого по трубопроводу теплоносителя для рассматриваемой температуры ОС.

Определение расходов теплоносителя в ТС

Для поиска зависимостей расходов $G(\eta, t_0)$ строится система графиков $\eta(z, t_0)$ как функций от параметра z при различных значениях t_0 . Затем проводится прямая $\eta = \text{const}$, причем константа выбирается близкой к рекомендованному значению коэффициента ЭЭ ТС. В точках пересечения этой прямой с кривыми $\eta(z, t_0)$ определяются (рисунок 2) координаты $z(t_0)$, согласно ним устанавливаются величины расходов

$$G(\eta, t_0) = \frac{l}{c_p z(t_0) R}.$$

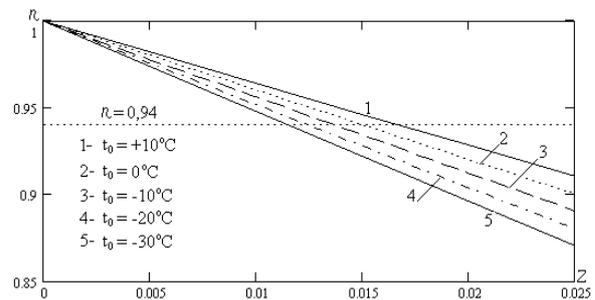


Рисунок 2 — Графический метод поиска расходов теплоносителя в сети

Семейство кривых $\eta(z, t_0)$ на рисунке 2 построено для ТГ сети 130/70°C, коэффициента местных потерь $\beta = 0.2$ и различных значений температуры ОС; прямая соответствует нормативному КПД $\eta = 0.94$.

Из рисунка видно, что для значений $\eta > 0,8$ параметр $z \ll 1$. Следовательно, содержащиеся в формуле (26) гиперболические функции можно разложить в ряд [12] и привести трансцендентное уравнение для определения расхода теплоносителя к алгебраическому уравнению. Ограничиваясь членами разложения, содержащими z в степени не выше второй,

аппроксимируем кривые $\eta(z, t_0)$ параболлами, а формулу (26) приведем к виду:

$$\eta(z, t_0) = 1 + \frac{1}{2}(1 + \beta)z \left(z - 4 \cdot \frac{\tau_0 - t_0}{t_1 - t_2} \right).$$

Полагая теперь $\eta(z, t_0) = \eta$, получим уравнение для определения массового расхода транспортируемого теплоносителя на единицу длины трубопроводов, в результате решения оно примет вид

$$\frac{G}{l} = \frac{1}{c_p R} \sqrt{\frac{1 + \beta}{2(1 - \eta)} \frac{\delta}{1 - \sqrt{1 - \delta^2}}},$$

где $\delta = \frac{t_1 - t_2}{\tau_0 - t_0} \sqrt{\frac{1 - \eta}{2(1 + \beta)}}$ — параметр, зависящий от ТГ сети и температуры ОС.

Зависимость удельного расхода G/l в относительных единицах $(c_p R)^{-1}$ изображена на рисунке 3 для ТГ сети 130/70°C.

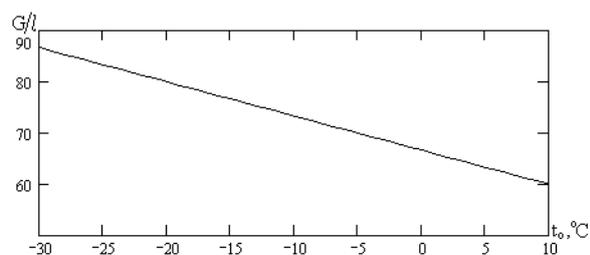


Рисунок 3 — Удельный расход транспортируемого теплоносителя (в относительных единицах) при различных t_0

Из рисунка видно, что расход транспортируемого теплоносителя падает практически линейно с темпом $d \cdot \frac{l}{c_p R}$, где $d = \frac{2}{3}$ на 1°C. Получаемая ТЭ потребителем в единицу времени имеет вид

$$Q_0 = \eta c_p G(t_1 - t_2),$$

и также падает с ростом температуры ОС с темпом

$$\bar{q}_d = \eta d \frac{l}{R}(t_1 - t_2).$$

Определение дифференциальных потерь потребителя q_d ведется по его суммарному термическому сопротивлению R_0 (см. уравнение баланса (9)). Если $\bar{q}_d > q_d$, то потребитель получает больше тепла, чем требуется для поддержания нормативной температуры, он вынужден ухудшать ТИ помещений, открывать, например,

форточки, двери или окна. Если $\bar{q}_d < q_d$, то потребитель недополучает тепло. В этом случае в помещении либо устанавливается температура ниже нормативной, либо используются автономные нагревательные приборы для компенсации недостаточного притока тепла. Только в случае $\bar{q}_d = q_d$ в помещении поддерживается нормативная температура. Последнее равенство представляет собой требование, которому должна удовлетворять ЭЭ ТС в зависимости от ТГ и дифференциальных потерь от потребителя.

Пусть при расчётной температуре, соответствующей наиболее холодному дню за год, коэффициент ЭЭ был равен рекомендованному. В дальнейшем с увеличением температуры ОС, как видно из рисунка 3, он не может оставаться постоянным. Потребитель, стремясь сохранить нормальную температуру в протопленном помещении, будет вынужден прибегнуть к уменьшению его теплового сопротивления, выбрасывая излишнее поступающее тепло в ОС. Таким образом, коэффициент ЭЭ ТС должен меняться по определенному закону в зависимости от наружной температуры.

Для нахождения этой зависимости выразим входящие в уравнение (9) теплового баланса протопленного помещения величины через дифференциальные потери q_d :

$$q_d(t_r - t_0) + Q_c = \eta c_p G(t_1 - t_2), \quad (27)$$

где t_r — температура в помещении.

Уравнение (27) связывает при заданном ТГ сети четыре переменные G , η , t_r , t_0 . Добавим к нему соотношение, вытекающее из балансового уравнения для ТС,

$$\frac{G}{l} = \frac{1}{c_p R} \sqrt{\frac{1 + \beta}{2(1 - \eta)} \frac{\delta}{1 - \sqrt{1 - \delta^2}}}. \quad (28)$$

Система уравнений (27), (28) устанавливает связи между переменными G , η , t_r , t_0 . Выбор двух из них за независимые автоматически определяет оставшиеся две.

Выбирая, например, за независимые переменные η , t_0 автоматически получаем температуру t_r , которую можно изменить только внешним вмешательством в систему теплоснабжения.

Обозначим через $\bar{\eta}$ энергетическую эффективность теплосети при некоторой температуре окружающего воздуха \bar{t}_0 . В качестве \bar{t}_0 можно взять любую температуру и, в частности, $\bar{t}_0 = -30^\circ\text{C}$. Запишем балансовые уравнения (27) для температуры \bar{t}_0 и текущей температуры \bar{t}_0 :

$$\begin{aligned} q_a(t_r - \bar{t}_0) + Q_c &= \bar{\eta} c_p \bar{G}(t_1 - t_2), \\ q_a(t_r - t_0) + Q_c &= \eta c_p G(t_1 - t_2), \end{aligned}$$

а затем разделим почленно второе уравнение на первое. В результате получим

$$\frac{q_a(t_r - t_0) + Q_c}{q_a(t_r - \bar{t}_0) + Q_c} = \frac{\eta \cdot G}{\bar{\eta} \cdot \bar{G}} \quad (29)$$

где \bar{G} — секундный расход горячей воды при температуре t_0 .

Потребляемое тепло Q_c , используемое частично для горячего водоснабжения, одновременно служит для компенсации потерь тепла, несколько изменяя температуру внутри отапливаемого помещения. Введем Δt , определяя ее равенством

$$Q_c = q_a \Delta t.$$

Из двух параметров, характеризующих потребителя, в уравнение (29) фактически входит один, и его можно записать в виде

$$\frac{t_r - t_0 + \Delta t}{t_r - \bar{t}_0 + \Delta t} = \frac{\eta \cdot G}{\bar{\eta} \cdot \bar{G}} \quad (30)$$

Для анализа зависимости $\eta(t_0)$ положим $t_r = t_N$ и определим две функции

$$y_1 = f(t_0) = \frac{t_N - t_0 + \Delta t}{t_N - \bar{t}_0 + \Delta t}, \quad (31)$$

$$y_2 = F(t_0, \eta) = \frac{\eta \cdot G}{\bar{\eta} \cdot \bar{G}} \quad (32)$$

вычисление которых не составляет труда. Тогда уравнение (30) можно представить как равенство этих функций, т. е.

$$f(t_0) = F(t_0, \eta). \quad (33)$$

Расчет зависимости $\eta(t_0)$ проводится следующим образом. Выберем некоторое

значение наружной температуры t_0 . Функция $y_1 = f(t_0)$, стоящая слева в уравнении (33), будет некоторым числом, которому в плоскости (y, η) соответствует прямая, параллельная оси η . Функция $y_2 = F(t_0, \eta)$ при данном значении t_0 рассчитывается по формуле (30). График этой функции в точке с координатой η пересечет прямая, положение которой определяется температурой t_0 . В этой точке выполняется уравнение баланса (33). Следовательно, при данной температуре t_0 значение η будет ЭЭ ТС. Повторяя описанные действия при различных значениях температур от \bar{t}_0 до $+10^\circ\text{C}$, получим зависимость ЭЭ ТС η от наружной температуры t_0 . Результаты расчетов для $t_N = 18^\circ\text{C}$, $\bar{t}_0 = -30^\circ\text{C}$ и $\bar{\eta} = 0.94$ представлены на рисунках 4 и 5.

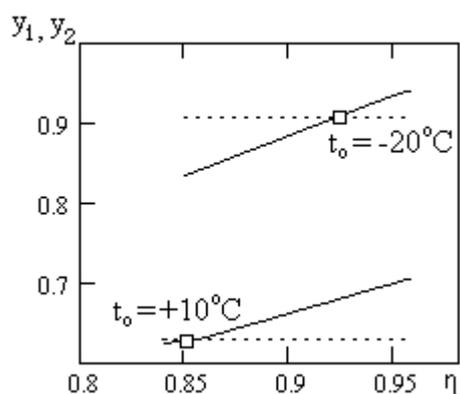


Рисунок 4 — Метод определения η ТС

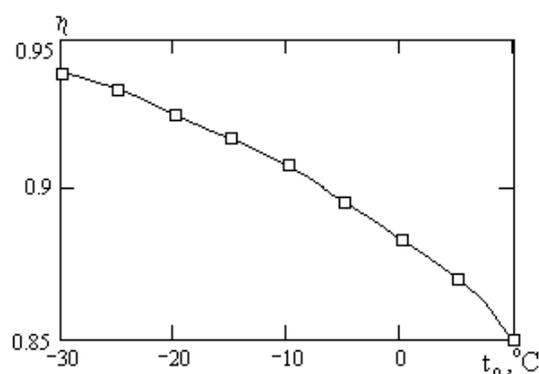


Рисунок 5 — Зависимость η от t_0

Из рисунка видно, что с повышением температуры ОС коэффициент ЭЭ падает, причем темп падения растет с увеличением t_0 . Соответственно, падает секундная подача теплоносителя в ТС, что видно из рисунка 3, где изображен удельный расход

G/l в единицах $(c_p R)^{-1}$ сетевой воды в зависимости от наружной температуры. Резкое падение расхода теплоносителя приводит к изменению режима работы центробежных насосов, обеспечивающих его циркуляцию в системе теплоснабжения. Кроме того, изменяются затраты электрической энергии на передачу единицы ТЭ от источника теплоты к потребителю. Возникает вопрос, насколько велики эти изменения, и как они влияют на общую ЭЭ ТС.

Как известно, рабочие характеристики центробежных насосов отличаются тем, что с уменьшением расхода происходит падение КПД η_n насоса и потребляемой мощности с одновременным ростом его рабочего напора H . Это приводит к увеличению удельных затрат электрической энергии на передачу ТЭ потребителю. Суммарные затраты топлива, включающие как производство ТЭ, так и производство электрической энергии, необходимой для передачи ТЭ потребителю, возрастают [13].

Заключение

В заключение можно сделать следующие выводы:

1. Получены критериальные зависимости ЭЭ ТС от температур теплоносителя, ОС и безразмерного параметра $z = l/(c_p R G)$, позволяющие найти эффективность конкретной сети и выбрать режимные параметры.

2. Предложен метод поиска оптимального расхода теплоносителя в ТС на основе значений ее КПД, рекомендованных в справочно-нормативной литературе. Метод позволит корректно выбирать диаметры сетевых трубопроводов и увязывать их величины с допустимой потерей напора.

3. Приведены функциональные зависимости расходных характеристик для метода количественного регулирования. Они могут использоваться при компьютерном моделировании и оптимизации параметров

ТС, включая оптимизацию ТП и электрических потерь в сетевых насосах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1]. Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети, 7-е изд. М., Изд. МЭИ, 2001, 421 с.

[2]. Данилов О. Л., Гаряев А. Б., Яковлев И. В. и др. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях / Под ред. Клименко А.В. М.: ИД МЭИ, 2010, 423 с.

[3]. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника. Справочник / Под ред. Клименко А.В. и Зорина В.М., кн. 4. М.: Изд. МЭИ, 2004, 630 с.

[4]. СП 61.13330.2012 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. Режим доступа:

<https://docs.cntd.ru/document/1200091050>

[5]. СП 124.13330.2012 Тепловые сети. Режим доступа:

<https://docs.cntd.ru/document/1200095545>

[6]. Жмакин Л. И., Шарпар Н. М., Полуцыган Е. О., Первак Г. И. Анализ эффективности передачи энергии по тепловым сетям. *Международный Косыгинский форум. МНТС Плановский-2021*, 2021, Т. 1, с. 398–401.

DOI: 10.37816/eeeste-2021-1-398-401.

[7]. Бадах В. Ф., Кузнецова А. Д. Расчет нормативных потерь тепла через изоляцию трубопроводов тепловых сетей. *Технико-технологические проблемы сервиса*, 2011, №4 (18), с. 60–72.

[8]. Зингер Н. М. Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем. М: Энергоатомиздат, 1986, 368 с.

[9]. Самодурова Е. О. Анализ факторов, влияющих на эффективность работы тепловых сетей. *Вестник ИрГТУ*, 2007, №2 (30), с. 54–57.

[10]. Кузнецов Г. В., Озерова И. П., Половников В. Ю., Цыганкова Ю. С.

Оценка фактических потерь тепла при транспортировке теплоносителя с учетом технического состояния и реальных условий эксплуатации тепловых сетей. *Известия Томского политехнического университета*, 2011, т. 319, №4, с. 56–60.

[11]. Поливода Ф. А. КПД теплосети на примере трубопроводов в ППУ изоляции. *Новости теплоснабжения*, 2008, №11 (99), с. 43–45.

[12]. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1974, 831 с.

[13]. Кислицын А. Н., Бегалов В. А. Актуальные вопросы энергосбережения и повышения эффективности использования энергоресурсов при разработке схем теплоснабжения, *Новости теплоснабжения*, 2013, №5 (153), с. 37–42

Жмакин Леонид Иванович — д-р техн. наук, профессор, кафедра «Энергоресурсоэффективные технологии, промышленная экология и безопасность», Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство) (Российская Федерация, 119071, Москва, Малая Калужская ул., д. 1).

Шарпар Николай Михайлович — канд. техн. наук, доцент, кафедра «Энергоресурсоэффективные технологии, промышленная экология и безопасность», Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство) (Российская Федерация, 119071, Москва, Малая Калужская ул., д. 1).

Полуцыган Елена Олеговна — аспирант, кафедра «Энергоресурсоэффективные технологии, промышленная экология и безопасность», Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство) (Российская Федерация, 119071, Москва, Малая Калужская ул., д. 1).

Improving the energy efficiency of the heat network

L. I. Zhmakin^{*}, N. M. Sharpar^{*,1}, E. O. Polutsygan^{*}

^{*} *The Kosygin State University of Russia, Moscow, Russia*

Abstract

An efficiency analysis was carried out for the heat network, describing its dependence on the ambient temperature, the flow rate of the coolant, and the temperature graph. It is shown that the efficiency of heat transport can be increased using modern materials as thermal insulation, optimization of quantitative and qualitative regulation of coolant flow in pipelines and reduction of energy consumption by network pumps.

A dimensionless complex is formulated, with the use of which two-dimensional criterion dependences for the efficiency indicator are found, which allow choosing the optimal parameters of the heat network. A graphical method is proposed for finding the optimal coolant flow rate based on the standard efficiency values; which made it possible to reasonably choose the diameters of network pipelines and link their values with the permissible pressure loss.

The functional dependences of the consumption characteristics according to the method of quantitative regulation are given. For thermal networks, they can be used for computer modeling and optimization of their parameters, including optimization of electrical and thermal losses arising in pumps installed in the network.

Keywords

Efficiency coefficient, thermal resistance, linear heat loss, temperature graph, heat network, coolant flow, flow characteristics, control methods.

REFERENCES

[1]. Sokolov E. Ya. Teplofikatsiya i teplovye seti [Heat supply and heat networks]. 7th ed. M., MPEI Publ., 2001, 421 p. (In Russ.)

[2]. Danilov O. L., Garyaev A. B., Yakovlev I. V. et al. Energoberezheniye v teploenergetike i teplotekhnologiyakh [Energy saving in heat power engineering and heat technologies]. Ed. Klimenko A. V. Moscow: MPEI Publ., 2010, 423 p. (In Russ.)

[3]. Promyshlennaya teploenergetika i teplotekhnika [Industrial heat power engineering and heat engineering. Guide]. Book 4. Ed. Klimenko A. V. and Zorina V. M., Moscow: MPEI Publ., 2004, 630 p. (In Russ.)

[4]. SP 61.13330.2012 Teplovaya izolatsiya oborudovaniya i truboprovodov [Thermal insulation of equipment and pipelines]. Access: <https://docs.cntd.ru/document/1200091050> (In Russ.)

¹ *Corresponding author:*

Email: sharpar753@mail.ru

- [5]. SP 124.13330.2012 Teplovyye seti [Heating network]. Access: <https://docs.cntd.ru/document/1200095545> (In Russ.)
- [6]. Zhmakin L. I., Sharpar N. M., Polutsygan E. O., Pervak G. I. Analiz effektivnosti peredachi energii po teplovym setyam [Analysis of the efficiency of energy transmission through thermal networks. International Kosygin Forum. MNTS Planovskiy-2021, 2021, vol. 1, pp. 398–401. (In Russ.) DOI: 10.37816/eeste-2021-1-398-401.
- [7]. Badakh V. F., Kuznetsova A. D. Raschet normativnykh poter' tepla cherez izolyatsiyu truboprovodov teplovykh setey [Calculation of normative heat losses through insulation of pipe wires of heat networks]. Tekhniko-tekhnologicheskiye problemy servisa [Technical and technological problems of service], 2011, № 4 (18), pp. 60–72. (In Russ.)
- [8]. Singer N. M. Gidravlicheskiye i teplovyye rezhimy teplofikatsionnykh sistem [Hydraulic and thermal modes of heating systems], Moscow: Energoatomizdat Publ., 1986, 368 p. (In Russ.)
- [9]. Samodurova E. O. Analiz faktorov, vliyayushchikh na effektivnost' raboty teplovykh setey [Analysis of factors affecting the efficiency of thermal networks]. Vestnik IrGTU [Bulletin of ISTU], 2007, № 2 (30), pp. 54–57. (In Russ.)
- [10]. Kuznetsov G. V., Ozerova I. P., Polovnikov V. Yu., Tsygankova Yu. S. Otsenka fakticheskikh poter' tepla pri transportirovke teplonositelya s uchetom tekhnicheskogo sostoyaniya i real'nykh usloviy ekspluatatsii teplovykh setey [Assessment of actual heat losses during heat carrier transportation taking into account the technical condition and real operating conditions of heat networks]. Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University], 2011, vol. 319, № 4, pp. 56–60. (In Russ.)
- [11]. Polivoda F. A. KPD teploseti na primere truboprovodov v PPU izolyatsii [The efficiency of the heating system on the example of piping in foam insulation]. Novosti teplosnabzheniya [Heat supply news], 2008, № 11 (99), pp. 43–45. (In Russ.)
- [12]. Korn G., Korn T. Spravochnik po matematike dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov [Handbook on mathematics for researchers and engineers]. Moscow: Nauka Publ., 1974, 831 p. (In Russ.)
- [13]. Kislitsyn A. N., Begalov B. A. Aktual'nyye voprosy energosberezheniya i povysheniya effektivnosti ispol'zovaniya energoresursov pri razrabotke skhem teplosnabzheniya [Topical issues of energy saving and improving the efficiency of energy resources use in the development of heat supply schemes]. Novosti teplosnabzheniya [Heat supply news], 2013, № 5 (153), pp. 37–42. (In Russ.)

Zhmakin L. I. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Department of Energy and Resource Efficient Technologies, Industrial Ecology and Safety, The Kosygin State University of Russia (Malaya Kaluzhskaya ul. 1, Moscow, 119071 Russian Federation).

Sharpar N. M. — Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Energy and Resource Efficient Technologies, Industrial Ecology and Safety, The Kosygin State University of Russia (Malaya Kaluzhskaya ul. 1, Moscow, 119071 Russian Federation).

Polutsygan E. O. — Postgraduate Student, Department of Energy and Resource Efficient Technologies, Industrial Ecology and Safety, The Kosygin State University of Russia (Malaya Kaluzhskaya ul. 1, Moscow, 119071 Russian Federation).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Повышение энергетической эффективности тепловой сети / Л. И. Жмакин, Н. М. Шарпар, Е. О. Полуцыган // Промышленные процессы и технологии. 2022. Т. 2. № 3(5). С. 76 – 87.

DOI: 10.37816/2713-0789-2022-2-3(5)-76-87

Please cite this article as:

Zhmakin L. I., Sharpar N. M., Polutsygan E. O. Improving the energy efficiency of the heat network. Industrial processes and Technologies, 2022, vol. 2. no. 3(5), pp. 76 – 87.

DOI: 10.37816/2713-0789-2022-2-3(5)-76-87