

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ НА ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ ТЕПЛОПРОВОДОВ

*О.Ф. Гавей, В.И. Панферов*

## ESTIMATION OF TEMPERATURE INFLUENCE OF HEAT CARRIER ON ENERGY LOSS INSIDE THERMAL CONDUCTORS

*O.F. Gavey, V.I. Panferov*

Рассматривается проблема низкотемпературного теплоснабжения отапливаемых зданий. Показано, что существует оптимальная температура теплоносителя, при которой достигается минимум потерь теплоты в теплотранспортных системах. Это открывает новые подходы к постановке и решению задач проектирования тепловых сетей.

*Ключевые слова:* низкотемпературное теплоснабжение, оптимальная температура теплоносителя, минимизация потерь теплоты, гидравлическое сопротивление теплопроводов, излучение, конвективный теплообмен.

We consider the problem of low temperature heat supply of heated buildings. It is shown that there is an optimal heat carrier temperature at which there is minimum loss of heat in the heat transport systems. This reveals new approaches to the formulation and the solution of problems of heat networks.

*Keywords:* low-temperature heating, the optimum temperature of the heat carrier, minimization of heat loss, pressure loss of heat, radiation, convective heat transfer.

В настоящее время большинство российских теплоснабжающих систем по ряду причин не в состоянии поддерживать принятые при проектировании высокотемпературные графики теплоснабжения: во многих теплопроводах температура теплоносителя гораздо ниже проектной. Приведение параметров теплоносителя к проектным значениям зачастую является практически невыполнимой задачей, поэтому многие специалисты видят решение связанных с этим проблем в переходе на пониженные графики теплоснабжения. В связи с этим актуальной становится задача исследования особенностей низкотемпературного теплоснабжения.

Проблемы несоответствия фактических температурных параметров проектным в системах теплоснабжения затрагиваются в трудах В.Ф. Гершковича, В. Г. Родионова, С.А. Чистовича, Л.М. Махова, А.П. Шелудько и др. При этом многие исследователи считают, что системы централизованного теплоснабжения с пониженными температурными графиками – это основное русло развития систем теплоснабжения в России на ближайшую перспективу. Так, в статьях В.Ф. Гершковича приводится подробная аргументация того, что традиционный температурный график теплоснабжения сильно завышен и не актуален для современных условий [1]. А.П. Шелудько подчеркивает, что снижение температуры теплоносителя позволило бы сократить перетопы в системах отопления в

переходные периоды года [2]. С.А. Чистович утверждает, что максимальная температура теплоносителя в подающем теплопроводе на сегодняшний день не должна превышать 110 °С [3].

На первый взгляд, низкотемпературное теплоснабжение является более комфортным для потребителей благодаря пониженной температуре поверхности отопительных приборов. Кроме того, на производство теплоносителя с более низкой температурой затрачивается меньшее количество дефицитных топливных ресурсов, экономия которых является приоритетной задачей. Однако необходимо выяснить, действительно ли низкотемпературное теплоснабжение приемлемо для нашей страны и каким именно должен быть оптимальный температурный график систем в сложившихся условиях.

Известно, что большинство тепловых потерь происходит при транспортировке теплоносителя. Согласно статистике в сетях теплоснабжения из-за их ненадлежащего состояния теряется до 70 % вырабатываемой теплоты [4], поэтому, очевидно, что проблеме энергосбережения необходимо решать в первую очередь на тепловых сетях.

На тепловые потери теплопроводов влияет не только качество тепловой изоляции, наличие утечек и монтаж теплотрасс, но и температура теплоносителя. Известно, что при расчете тепловых потерь теплопроводов при наружной прокладке учи-

тываются две составляющие: потери теплоты с излучением и с теплоотдачей [5]. Известно также, что потерю теплоты  $Q$ , например, неизолированным теплопроводом удовлетворительно можно оценить с помощью следующей формулы:

$$Q = F_{\text{тр}} (T_{\text{п}} - T_0) (\alpha_{\text{к}} + \alpha_{\text{л}}), \quad (1)$$

где  $F_{\text{тр}}$  – площадь поверхности теплопровода,  $T_{\text{п}}$  – температура поверхности теплопровода,  $T_0$  – температура окружающей среды,  $\alpha_{\text{к}}$ ,  $\alpha_{\text{л}}$  – соответственно коэффициенты конвективной теплоотдачи и теплоотдачи излучением.

Коэффициент теплоотдачи излучением зависит от температуры поверхности теплопровода, которая в расчетах принята равной температуре теплоносителя, и от температуры наружного воздуха и определяется по формуле

$$\alpha_{\text{л}} = \varepsilon_{\text{пр}} C_0 \left( \left( \frac{T_{\text{п}} + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_0 + 273}{100} \right)^4 \right) / (T_{\text{п}} - T_0), \quad (2)$$

где  $\varepsilon_{\text{пр}}$  – приведенный коэффициент черноты системы «теплопровод – окружающая среда», в данном случае он равен коэффициенту черноты поверхности теплопровода,  $C_0$  – постоянная Стефана – Больцмана.

Коэффициент конвективной теплоотдачи зависит от диаметра теплопровода, от температуры окружающей среды и от скорости ветра и вычисляется по формуле [5]

$$\alpha_{\text{к}} = 0,216 \beta_{\text{ф}} \text{Re}^{0,6} \lambda_{\text{в}} / D_{\text{тр}}, \quad (3)$$

где  $\beta_{\text{ф}}$  – поправочный коэффициент, учитывающий направление воздушного потока по отношению к оси теплопровода,  $\text{Re}$  – критерий Рейнольдса,  $\lambda_{\text{в}}$  – коэффициент теплопроводности воздуха,  $D_{\text{тр}}$  – диаметр теплопровода.

По указанным формулам были проведены расчеты тепловых потерь подающим, неизолированным, наружно проложенным теплопроводом длиной 1 м для климатических условий г. Магнитогорска. Температура наружного воздуха была принята равной  $-34^\circ\text{C}$ , скорость ветра 3 м/с, общий поток теплоты, т. е. тепловая мощность, доставляемая теплопроводом, 23,8 МВт. Температура теплоносителя в подающем теплопроводе изменялась в диапазоне от 90 до  $150^\circ\text{C}$ . Диаметры теплопроводов при одинаковом количестве переносимой теплоты, но при разной температуре теплоносителя и вследствие этого при разном его расходе определялись согласно условию, что удельные потери давления остаются прежними и равными во всех рассмотренных случаях 80 Па/м, что соответствует нормативным требованиям [6]. Найденное таким образом соотношение для расходов теплоносителя и диаметров теплопроводов имеет вид

$$\frac{G_1^2}{G_2^2} = \frac{D_1^{5,25}}{D_2^{5,25}}, \quad (4)$$

где  $G_1, G_2$  – расходы теплоносителя соответственно для диаметров теплопровода  $D_1, D_2$ . При этом подчеркнем, что во всех случаях считалось, что доставляемый за единицу времени теплопроводом поток теплоты один и тот же и равен  $c G_m T$ , где  $c$  – удельная теплоемкость теплоносителя,  $G_m$  и  $T$  – соответственно его массовый расход и температура. Вычисленные по формуле (4) значения диаметров для чистоты исследования не округлялись до стандартных размеров.

На рис. 1 приведены кривые, показывающие, как изменялись коэффициенты теплоотдачи  $\alpha_{\text{к}}$  и  $\alpha_{\text{л}}$  в вышеуказанных условиях в зависимости от температуры теплоносителя.

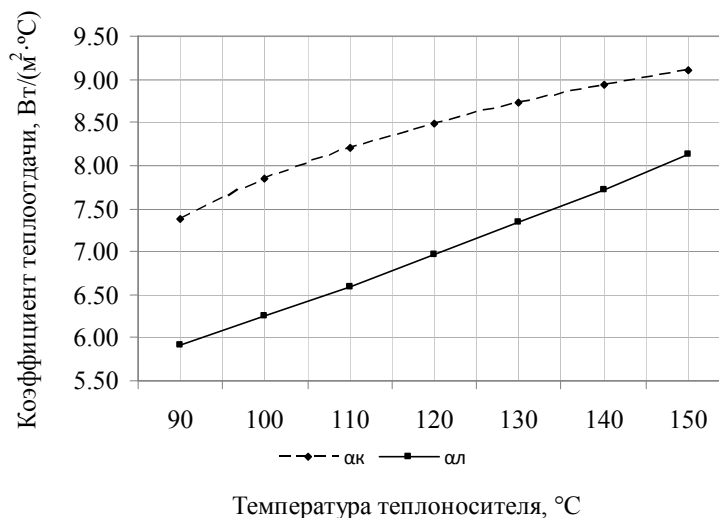


Рис. 1. Изменение коэффициентов теплоотдачи  $\alpha_{\text{к}}$  и  $\alpha_{\text{л}}$  в зависимости от температуры теплоносителя

## Инженерное оборудование зданий и сооружений

Из рис. 1 видно, что коэффициенты теплоотдачи  $\alpha_k$  и  $\alpha_n$  увеличиваются с увеличением температуры теплоносителя и соответственно температуры поверхности теплопроводов. Поэтому уменьшение данных составляющих с уменьшением температуры теплоносителя, как это следует из формулы (1), будет приводить при прочих равных условиях и к уменьшению тепловых потерь. Вследствие этого может возникнуть предположение, что и в целом при более низкой температуре теплоносителя будут достигаться и более низкие удельные потери теплоты. Однако согласно формуле (1) общие тепловые потери теплопровода зависят еще и от площади его поверхности, и от разности температур поверхности теплопровода и окружающей среды. Площадь поверхности теплопроводов растет с увеличением их диаметров, что и требуется из-за снижения температуры теплоносителя, приводящего к увеличению его расхода при неизменном значении теплового потока.

Изменение второй составляющей формулы (1)  $F_{тр}(T_n - T_o)$  – произведения площади поверх-

ности теплопровода и разности температур поверхности теплопровода и окружающей среды в зависимости от температуры теплоносителя показано на рис. 2.

Как видно из рис. 2, произведение  $F_{тр}(T_n - T_o)$  на большей части графика заметно растет с уменьшением температуры теплоносителя, несмотря на то, что при этом разность температур  $(T_n - T_o)$  снижается, следовательно, эта составляющая формулы (1) – произведение  $F_{тр}(T_n - T_o)$  будет «работать» в целом на увеличение тепловых потерь из-за преобладающего влияния увеличения площади поверхности теплообмена. Из рис. 2 также видно, что представленная кривая  $F_{тр}(T_n - T_o) = f(T)$  имеет слабо выраженный минимум в правой части графика.

Изменение потерь теплоты в зависимости от температуры теплоносителя отдельно за счет излучения и за счет конвективного теплообмена показано на рис. 3.

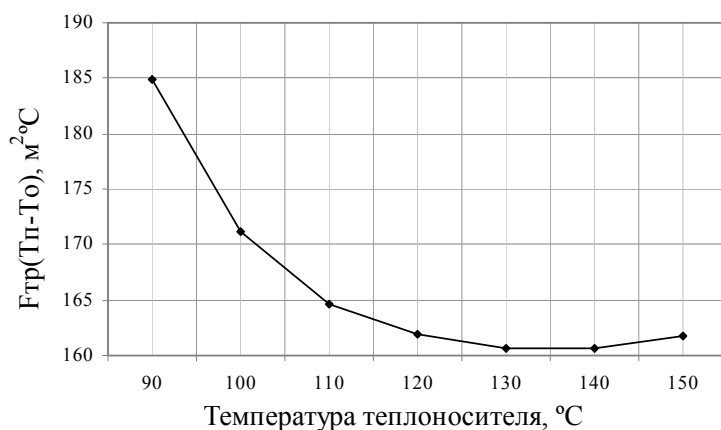


Рис. 2. Кривая изменения произведения  $F_{тр}(T_n - T_o)$  в зависимости от температуры теплоносителя

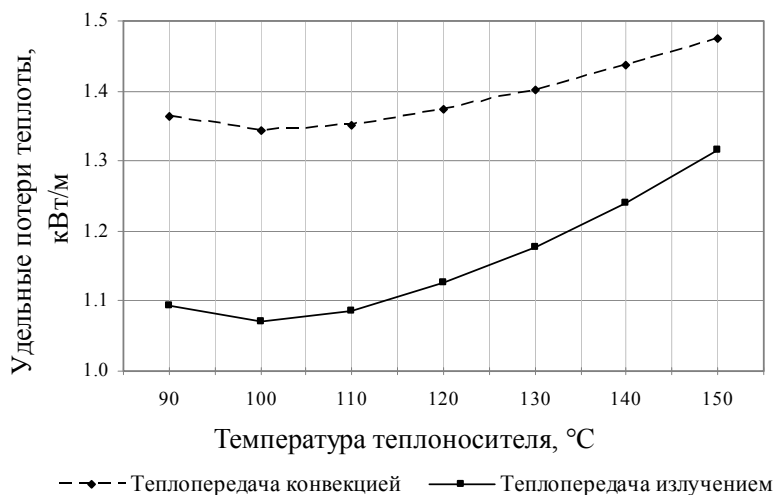


Рис. 3. Изменение потерь теплоты в зависимости от температуры теплоносителя

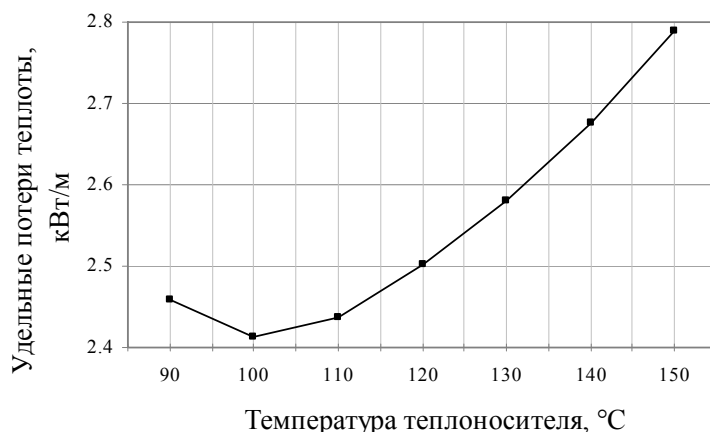


Рис. 4. Суммарные тепловые потери теплопровода в зависимости от температуры теплоносителя

На рис. 4 показано изменение потерь теплоты в зависимости от температуры теплоносителя в сумме как за счет излучения, так и за счет конвективного теплообмена.

Как видно из рис. 3 и 4, кривые потерь теплоты теплопроводом имеют достаточно отчетливо выраженный минимум, т. е. существует оптимальная температура теплоносителя, при которой потери теплоты теплопроводом будут наименьшими. В частности, для рассмотренных условий самые низкие тепловые потери теплопроводов достигаются при температуре теплоносителя 100 °C. Данный результат дает основание для предпочтительного выбора расчетной температуры теплоносителя в системах теплоснабжения из решения задачи оптимизации. Из рис. 4 также видно, что при температурах теплоносителя свыше 100 °C наблюдается довольно интенсивный рост тепловых потерь, следовательно, с данной точки зрения высокотемпературное теплоснабжение не является выгодным, что вообще-то является достаточно неожиданным результатом для специалистов по теплоснабжению, так как в литературе обычно утверждается, что «...экономически может быть оправдано повышение максимальной температуры сетевой воды в подающем трубопроводе до 170÷190 °C» [7, с. 90], что «...повышение параметров теплоносителя приводит к... снижению расходов по перекачке» теплоносителя [7, с. 113].

Общеизвестно, что при наличии тепловой изоляции на магистральных теплопроводах расчет потерь теплоты с достаточной точностью может быть проведен по следующей формуле:

$$Q = F_{\text{тр}} (T_{\text{п}} - T_0) k, \quad (5)$$

где  $k = 1 / (1 / (\alpha_{\text{л}} + \alpha_{\text{к}}) + \delta / \lambda)$  — коэффициент теплопередачи,  $\delta$  — толщина тепловой изоляции, а  $\lambda$  — ее коэффициент теплопроводности. Поэтому, как это следует из сравнения формул (1) и (5), наличие тепловой изоляции качественно не меняет найденного результата: с точки зрения минимизации

тепловых потерь существует оптимальная температура теплоносителя, причем эта температура, как правило, совсем не соответствует общеизвестным значениям в 150 или 130 °C [6]. В частности, во всех наших расчетах, проведенных и для других значений количества переносимой теплоты и других значений удельных потерь давления, оптимальная температура теплоносителя в подающем теплопроводе была равной 100 °C. Поэтому рекомендуется оптимальное значение расчетной температуры теплоносителя в тепловых сетях выбирать из решения следующей задачи оптимизации:

$$q_L = \frac{\pi(T - T_0)}{R_L} \rightarrow \min_T, \quad (6)$$

где  $q_L$  — линейная плотность теплового потока,  $R_L$  — линейное термическое сопротивление теплопередаче теплопровода.

#### Выводы

Исследованы особенности процесса теплоснабжения, обусловленные снижением температуры теплоносителя в подающих теплопроводах. Установлено, что в области пониженных температур существует оптимальная температура теплоносителя, при которой тепловые потери теплопроводов будут минимальными. Поэтому рекомендуется при проектировании и реализации систем низкотемпературного теплоснабжения расчетную температуру теплоносителя выбирать из решения задачи оптимизации.

#### Литература

1. Гершкович, В.Ф. Сто пятьдесят... Норма или перебор? (Размышления о параметрах теплоносителя) / В.Ф. Гершкович // Энергосбережение. — 2004. — № 5. — С. 14–19.
2. Шелудько, Л.П. Анализ возможности сокращения «перетона» тепловых потребителей при «изломе» температурного графика теплосети / Л.П. Шелудько // Новости теплоснабжения. — 2004. — № 05. — С. 41–44.

## Инженерное оборудование зданий и сооружений

---

3. Чистович, С.А. 100-летняя история и будущее теплофикации и централизованного теплоснабжения России / С.А. Чистович // 100 лет теплофикации и централизованному теплоснабжению: сб. ст. – М.: Изд-во «Новости теплоснабжения», 2003. – С. 198–208.

4. Родионов, В.Г. Энергетика. Проблемы настоящего и возможности будущего / В. Г. Родионов. – М.: ЭНАС, 2010. – 344 с.

5. Расчет тепловых потерь неизолированными трубопроводами при наземной прокладке: метод. указания. // ЭСКО Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы». – 10/2005. – <http://esco-ecosys.narod.ru/>

6. Теплоснабжение: учеб. для вузов. / под ред. А.А. Ионина. – М.: Стройиздат, 1982. – 336 с.

7. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учеб. для вузов / Е.Я. Соколов. – М.: Изд-во МЭИ, 1999. – 472 с.

**Поступила в редакцию 27 июня 2012 г.**