

УДК 697.341

**ВЫБОР НОРМ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА ПРИ РАСЧЕТЕ
ИЗОЛЯЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ТЕПЛОПРОВОДОВ
С УЧЕТОМ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
И КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ**

О.И. МИШУТО, В.А. БРЫСИН, Ф.И. МОСКАЛЁНОК, А.Ю. СИДОРОВА
(Представлено: А.М. НИЯКОВСКИЙ)

Рассмотрена взаимосвязь плотности теплового потока с поверхности тепловой изоляции и коэффициента полезного действия тепловой сети с учетом ее геометрических характеристик и мощности теплового потребления применительно к району жилой застройки.. Предложены аналитические и графические зависимости, позволяющие осуществить выбор нормированной плотности теплового потока при проектировании теплоизоляционной конструкции, обеспечивающей наперед заданное значение коэффициента полезного действия тепловой сети.

Введение. Под эффективностью системы теплоснабжения следует понимать отношение полезного эффекта системы к общим затратам энергии на его получение. Затраты энергии в системе теплоснабжения состоят из затрат электрической энергии на привод оборудования и затрат топлива на получение теплоты.

Система теплоснабжения состоит из источника тепловой энергии, системы ее транспорта (тепловой сети) и теплоиспользующих установок на стороне потребителя тепловой энергии. По различным оценкам, в реальных условиях эксплуатации КПД этих элементов системы теплоснабжения составляет: источника теплоты – 80...96%, тепловой сети – 60...92%, теплоиспользующих установок – 80...95%. Потери энергии на источнике связаны с несовершенством преобразования энергии топлива в тепловую энергию. Потери энергии в тепловых сетях обусловлены утечками теплоты в окружающую среду. Потери энергии у потребителей вызваны термодинамическим несовершенством энергопотребляющего оборудования. В итоге суммарный КПД системы теплоснабжения представляет собой произведение КПД отдельных ее элементов и равен 40... 85%. Наиболее слабым звеном в этой цепочке являются системы транспорта тепловой энергии – тепловые сети.

Вопросам взаимосвязи КПД тепловой сети с ее геометрическими параметрами уделено много исследований. В частности в работах [1–3] показана взаимосвязь геометрических параметров тепловой сети, ее нагрузки и КПД, однако не предлагается наглядная методика учета требуемой величины КПД тепловой сети при проектировании тепловой изоляции для вновь создаваемых или оценке ее состояния для действующих систем теплоснабжения.

Целью настоящей работы является исследование связи между эффективностью тепловой изоляции и величиной нагрузки теплоснабжения, присоединенной к коллекторам источника с учетом геометрических характеристик тепловой сети. Тепловая изоляция предназначена для снижения тепловых потерь трубопроводами в окружающую среду. Основными, чаще всего применяемыми, критериями ее эффективности считаются следующие:

- нормированные значения плотности теплового потока;
- нормативные величины температур на поверхности изоляции;
- допустимые значения падения температуры теплоносителя по длине тепловой сети.

Названные критерии должны находиться в системном единстве с главным, интегральным, показателем – эффективностью всей системы теплоснабжения. Это требует проведения дополнительных исследований, которым и посвящена настоящая работа. Эффективность системы теплоснабжения и составляющих ее элементов будем оценивать коэффициентом полезного действия (КПД). Рассмотрим только топливную составляющую, связанную с генерацией тепловой энергии.

Теоретическое обоснование и разработка математической модели исследования. КПД тепловой сети, η_{mc} , представляет собой отношение количества теплоты, переданной потребителям, $Q_{номр.}$, к количеству теплоты $Q_{омн.}$, отпущенной в тепловую сеть источником:

$$\eta_{mc} = \frac{Q_{номр.}}{Q_{омн.}} = \frac{Q_{омн.} - \Delta Q_{м.п.}}{Q_{омн.}} = 1 - \frac{\Delta Q_{м.п.}}{Q_{номр.} + \Delta Q_{м.п.}}, \quad (1)$$

где $\Delta Q_{м.п.}$ – разница между отпущенной и потребленной теплотой, равная тепловым потерям при транспорте теплоты в тепловых сетях от источника к потребителям.

На рис. 1 представлена графическая зависимость КПД тепловой сети от соотношения величин тепловых потерь и количества тепловой энергии, отпущенной источником теплоты.

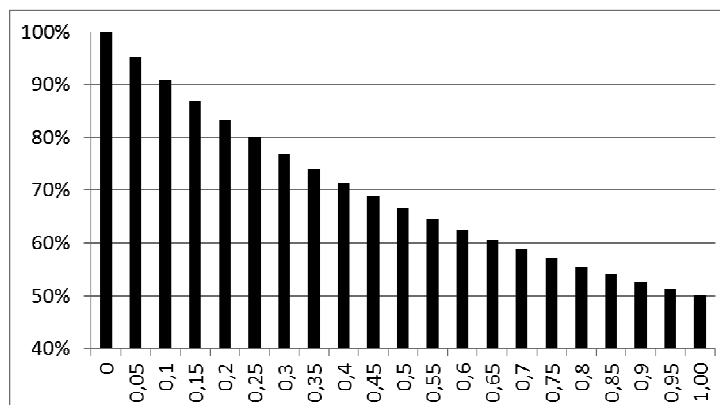


Рис. 1. Зависимость КПД тепловой сети от соотношения величин тепловых потерь и количества теплоты, отпущенной источником теплоты в сеть

Величина тепловых потерь находится в прямой зависимости от разности средних температур теплоносителя, t_{cp} , и окружающей среды, $t_{o.c.}$, поверхности теплообмена и в обратной зависимости от термического сопротивления изоляционной конструкции, $R_{u.k.}$, осредненного по всей сети, а поверхность теплообмена пропорциональна длине, l_i , и диаметру, d_i , трубопроводов:

$$\Delta Q_{m.n.} = \frac{(\tau_{cp} - t_{o.c.})}{R_{u.k.}} \cdot \pi \sum d_i \cdot l_i. \quad (2)$$

В приведенном выше выражении можно выделить два комплекса:

$$q_F = \frac{(\tau_{cp} - t_{o.c.})}{R_{u.k.}} \text{ и } M = \sum d_i \cdot l_i. \quad (3)$$

Здесь q_F – плотность теплового потока, отнесенная к единице материальной характеристики тепловой сети, а M – материальная характеристика сети.

Произведя подстановку уравнений (3) в уравнение (2) получим:

$$\Delta Q_{m.n.} = q_F \cdot \pi \cdot M. \quad (4)$$

Входящая в уравнение (1) величина теплового потребления $Q_{номп.}$ определяется в зависимости от площади застраиваемой территории, плотности жилой застройки, удельных величин теплового потребления, продолжительности отопительного периода и других характеристик района теплового потребления.

В общем виде величина расчетного годового потребления теплоты применительно к жилой застройке населенного пункта может быть выражено на основании методики, изложенной в [4], следующим образом, Вт·ч:

$$Q_{номп.}^{200} = a \cdot F \left[q_o \cdot (1 + k_1 + k_1 \cdot k_2) \cdot \frac{t_6^p - t_n^{cp}}{t_6^p - t_{no}^p} \cdot n_o + \frac{q_{зв.}}{f} \cdot (n_o + n_{но}) \right], \quad (5)$$

а расчетная тепловая нагрузка таким образом [4]:

$$Q_{номп.}^{расч} = q_o \cdot a \cdot F \cdot (1 + k_1 + k_1 \cdot k_2) + q_{зв.} \cdot \frac{a \cdot F}{f}, \quad (6)$$

где q_o и $q_{зв.}$ – укрупненные показатели соответственно: максимального расхода теплоты на отопление жилых зданий на 1 м² общей площади, Вт/м², среднего расхода теплоты на горячее водоснабжение на одного человека, Вт/чел.;

k_1 – коэффициент, учитывающий расход теплоты на отопление общественных зданий; k_2 – коэффициент, учитывающий расход теплоты на вентиляцию общественных зданий; при отсутствии конкретных данных принимаются на основании требований [4];

a – плотность жилой застройки, м²/га, принимаемая на основании требований [5];

F – площадь застраиваемой территории брутто, га;
 f – расчетная норма общей площади на одного человека, м²/чел;
 $t_o^p, t_{no}^p, t_n^{cp}$ – температуры соответственно: расчетная внутреннего воздуха помещений, расчетная наружного воздуха, средняя наружного воздуха за отопительный период, °С;
 n_o и n_{no} – соответственно продолжительность отопительного и неотапливаемого периода, ч.
 Материальная характеристика тепловой сети при разработке математической модели может быть вычислена на основании известных соотношений [6]

$$d_i = A_d \cdot \frac{G_i^{0,38}}{R^{0,19}};$$

$$M = \sum A_d \cdot \frac{G_i^{0,38}}{R^{0,19}} \cdot l_i; \quad G_i = \frac{Q_{nomp,i}}{c \cdot (\tau_1^p - \tau_2^p)};$$

$$M = \sum A_d \cdot \frac{Q_{nomp,i}^{0,38}}{R^{0,19} \cdot [c \cdot (\tau_1^p - \tau_2^p)]^{0,38}} \cdot l_i,$$
(7)

где A_d – коэффициент, зависящий от шероховатости труб; R – удельные потери давления на трение, Па/м; τ_1^p и τ_2^p – расчетные температуры теплоносителя соответственно в подающей и обратной магистрали тепловой сети, °С.

Обобщая уравнения (1)–(7), можно получить соотношение, связывающее между собой КПД тепловой сети, плотность застройки, нормированную плотность теплового потока с поверхности тепловой изоляции и материальную характеристику сети:

$$\eta_{mc} = 1 - \left\{ 1 + \frac{a \cdot F \left[q_o \cdot (1 + k_1 + k_1 \cdot k_2) \cdot \frac{t_o^p - t_n^{cp}}{t_o^p - t_{no}^p} \cdot n_o + \frac{q_{zg}}{f} \cdot (n_o + n_{no}) \right]}{q_F \cdot \pi \cdot M \cdot (n_o + n_{no})} \right\}^{-1}.$$
(8)

Из этого уравнения следует зависимость, позволяющая принимать величину нормированного теплового потока с поверхности тепловой изоляции в зависимости от наперед заданного значения КПД тепловой сети:

$$q_F = \frac{(1 - \eta_{mc}) \cdot a \cdot F \left[q_o \cdot (1 + k_1 + k_1 \cdot k_2) \cdot \frac{t_o^p - t_n^{cp}}{t_o^p - t_{no}^p} \cdot n_o + \frac{q_{zg}}{f} \cdot (n_o + n_{no}) \right]}{\eta_{mc} \cdot \pi \cdot M \cdot (n_o + n_{no})}.$$
(9)

Исследование разработанной математической модели. На основании полученных уравнений (7)–(9) осуществлены численные исследования полученной математической модели при изменении ее отдельных параметров. Исходя из общих теоретических представлений, с ростом удельных тепловых потерь при постоянстве других параметров КПД тепловой сети должен снижаться. При увеличении протяженности сети и/или диаметров отдельных ее участков также следует ожидать снижения КПД тепловой сети. Напротив, с ростом плотности жилой застройки при неизменной материальной характеристике КПД тепловой сети должен монотонно возрастать, асимптотически приближаясь к своему максимальному значению. Плотность жилой застройки в рассматриваемой модели является масштабом объема полезно потребляемой теплоты, в то время как плотность теплового потока и материальная характеристика сети позволяет судить о величине тепловых потерь в окружающую среду.

Были проведены следующие исследования математической модели:

- 1) определен характер зависимости КПД тепловой сети от плотности жилой застройки при различных значениях суммарной протяженности сети, но постоянном значении удельных потерь давления R , используемом для вычисления диаметров участков;
- 2) выявлен характер зависимости расчетных значений удельного теплового потока, отнесенного к единице материальной характеристики сети, с поверхности тепловой изоляции в окружающую среду от плотности жилой застройки при различной протяженности сети и постоянной величине удельных потерь давления R ;
- 3) найдена комплексная взаимосвязь между КПД тепловой сети, плотностью жилой застройки и нормированной плотностью теплового потока с поверхности изоляции в окружающую среду.

Результаты выполненных численных экспериментов представлены в графической форме на рисунках 2–4.

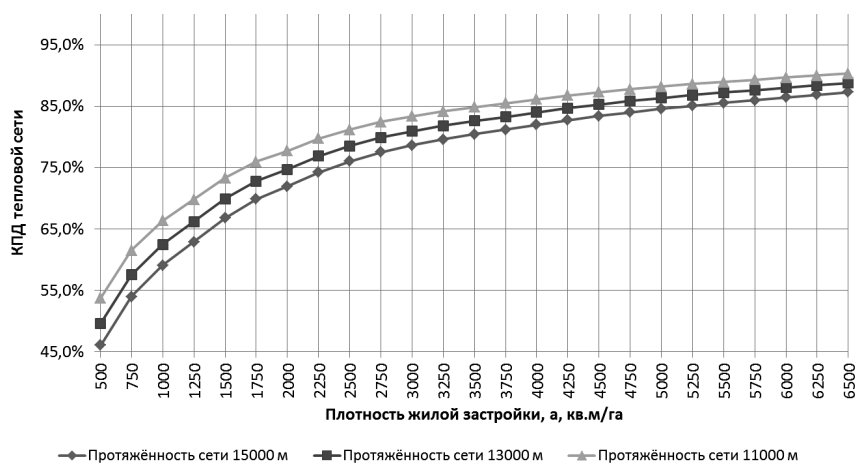


Рис. 2. Зависимость КПД тепловой сети от плотности жилой застройки, a , при различных значениях суммарной протяженности участков сети и $R = \text{const}$

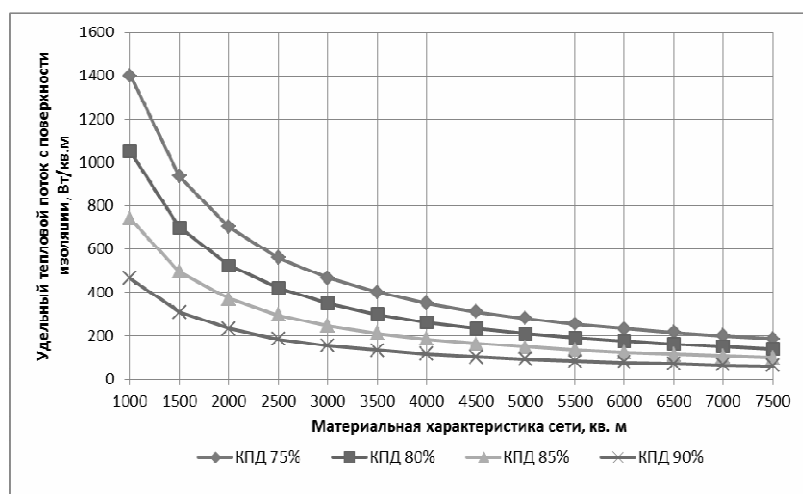


Рис. 3. Зависимость плотности теплового потока с поверхности изоляции от материальной характеристики сети при различных значениях заданной величины КПД тепловой сети

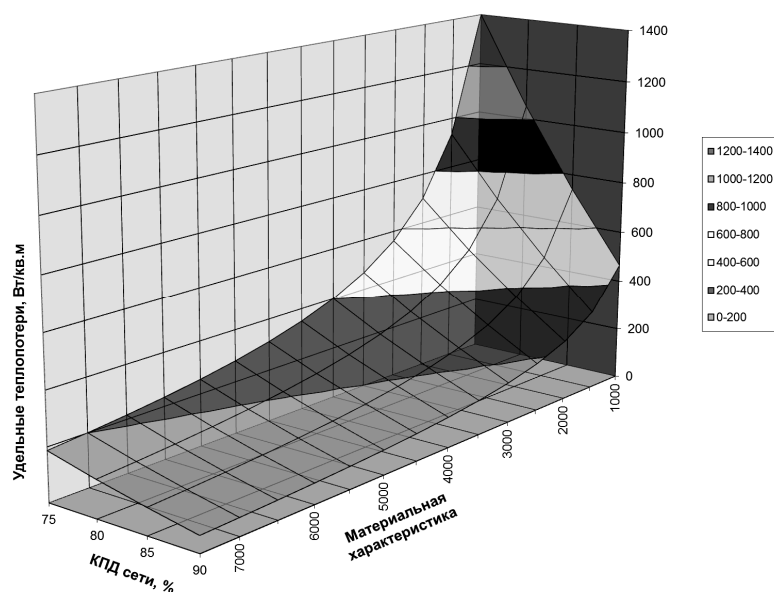


Рис. 4. Зависимость нормированного теплового потока в окружающую среду от заданного КПД тепловой сети и ее материальной характеристики при постоянной плотности жилой застройки

Заключение. Результаты выполненного исследования свидетельствуют, что для обеспечения необходимого КПД тепловой сети выбор толщины теплоизоляционного слоя необходимо производить с учетом плотности жилой застройки территории. С уменьшением плотности застройки падает полезная тепловая нагрузка сети, КПД транспорта тепловой энергии существенно снижается. Поэтому использовать для расчета изоляционной конструкции величины нормированных тепловых потоков, приведенные, в частности, в [7], можно лишь в пределах, позволяющих получить заданное значение КПД тепловой сети. Таким образом, КПД тепловой сети, наряду с нормированным тепловым потоком, становится дополнительным критерием, позволяющим оценивать качество и состояние тепловой изоляции действующих теплопроводов и дополнительным фактором при ее проектировании для вновь создаваемых сетей. Приведенный на рис. 4 обобщенный график позволяет производить корректировку принимаемой к расчету величины нормированного теплового потока с учетом наперед заданного значения КПД тепловой сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соколов, Е.Я. Метод определения материальной характеристики и протяженности тепловой сети в пределах площади застройки / Е.Я. Соколов, Г.А. Побегаяев // Изв. вузов. Энергетика. – 1985. – № 3.
2. Папушкин, В.Н. Радиус теплоснабжения. Хорошо забытое старое / В.Н. Папушкин // Новости теплоснабжения. – 2010. – № 10.
3. Цыганкова, Ю.С. Оценка транспортных потерь тепловой энергии через теплоизоляционные конструкции трубопроводов тепловых сетей : автореф. ... дис. канд. техн. наук : 05.14.04 / Ю.С. Цыганкова ; Сибир. федерал. ун-т. – Красноярск, 2012. – 19 с.
4. Тепловые сети. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-4.02-182-2009 (02250). – Введ. 01.07.2010. – Минск : Мин-во арх. и стр-ва Респ. Беларусь, 2010. – 70 с.
5. Градостроительство. Населенные пункты. Нормы планировки и застройки : ТКП 45-3.01-116-2008 (02250). – Введ. 01.07.2009. – Минск : Мин-во арх. и стр-ва Респ. Беларусь, 2009. – 83 с.
6. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. – М. : МЭИ, 2000. – 472 с.
7. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-4.02-91-2009 (02250). – Введ. 01.07.2010. – Минск : Мин-во арх. и стр-ва Респ. Беларусь, 2010. – 38 с.