

УДК 697.341

К ВЫБОРУ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

*А.М. НИЯКОВСКИЙ; канд. техн. наук, доц. Э.И. ГОНЧАРОВ; О.И. МИШУТО
(Полоцкий государственный университет)*

Рассмотрено влияние на требуемую эффективность тепловой изоляции трубопроводов тепловых сетей плотности теплового потребления в районе теплоснабжения и величины материальной характеристики сети. Показана взаимосвязь между этими параметрами и коэффициентом полезного действия системы транспорта тепловой энергии. Предложена методика оценки требуемой расчетной плотности теплового потока через изолированную поверхность для проектирования тепловой изоляции в зависимости от геометрических параметров тепловой сети и заданного значения коэффициента полезного действия системы транспорта тепловой энергии.

Ключевые слова: тепловые сети, тепловой поток, расчетная плотность, тепловая изоляция, предлагаемая методика.

Сокращение потребления энергетических ресурсов при одновременном обеспечении высоких эксплуатационных характеристик создаваемых объектов – одно из важных направлений в совершенствовании проектирования тепловых сетей. В связи с этим большое значение приобретает разработка критериев, позволяющих производить оценку состояния теплоизоляционных конструкций теплопроводов на стадии эксплуатации и осуществлять выбор параметров тепловой изоляции при ее проектировании.

Существующие методики расчета толщины теплоизоляционного слоя при проектировании тепловой изоляции трубопроводов основываются на использовании нормативных значений линейной плотности теплового потока через изолированную поверхность, которые могут приниматься не более величин, указанных в соответствующих технических нормативных правовых актах (ТНПА). Нормируемые значения линейной плотности теплового потока применяются и для оценки теплозащитных свойств изоляции при эксплуатации тепловых сетей. Однако и в том, и в другом случае остается невыясненным, в какой степени эти нормы учитывают коэффициент полезного действия сети (КПД), какому его значению соответствует то или иное значение линейных норм плотности теплового потока.

Настоящая работа является продолжением серии опубликованных авторами материалов, посвященных вопросам совершенствования и построения теплоэнергетических систем промышленных предприятий (ТЭСПП) [1; 2; 3]. Нахождение взаимосвязи между плотностью теплового потока с поверхности теплопроводов, геометрическими параметрами сети, ее КПД и плотностью теплового потребления, сложившегося в пределах района теплоснабжения, и является целью представленной работы.

Вопросам влияния на величину КПД тепловой сети ее геометрических параметров и тепловой мощности уделено внимание целого ряда исследований. В частности, в работах [4–6] показана взаимосвязь геометрических параметров тепловой сети, ее нагрузки и КПД, однако не предлагается методика расчета тепловой изоляции, позволяющая обеспечить заданный КПД системы транспорта тепловой энергии при заданных геометрических характеристиках сети в зависимости от плотности теплового потребления.

Критерии оценки эффективности теплоснабжения и тепловой изоляции. Большинство критериев, оценивающих эффективность теплоснабжения и транспорта теплоты, основывается на анализе использования первичного топлива. Эффективность использования первичной энергии в системах централизованного теплоснабжения (СЦТ) определяется энергетической эффективностью составляющих ее элементов: источника теплоснабжения, тепловых сетей, тепловых пунктов и теплоиспользующих установок потребителей тепловой энергии. Применительно к рассматриваемому вопросу под энергетической эффективностью (или, в традиционных терминах, под «коэффициентом полезного действия») будем понимать отношение количества энергии, полученной на выходе системы или отдельного ее элемента, к количеству энергии, поступившей на вход системы или ее элемента. Тогда для СЦТ с некогенерационным источником энергии справедливо соотношение:

$$\eta = \frac{\beta_m^{уст} \cdot Q_{номп.}}{\beta_m^{уст} \cdot Q_{омп.} + \beta_m^{уст} \cdot Q_{с.н.}} = \frac{Q_{номп.}}{Q_{омп.} + Q_{с.н.}}, \quad (1)$$

где $\beta_m^{уст}$ – удельные затраты условного топлива на источнике при производстве энергии; $Q_{омп.}$ – количество отпущенной источником тепловой энергии; $Q_{номп.}$ – количество тепловой энергии, переданное по-

ребителям; $Q_{с.н}$ – объем тепловой энергии, израсходованной на собственные нужды СЦТ, например, на продувку котлов, приготовление теплоносителя и т.п.

Числитель уравнения (1) всегда меньше его знаменателя на величину потерь, которые складываются из непроизводительных затрат первичной энергии на источнике теплоснабжения, тепловых потерь при транспортировке теплоты от источника к потребителям, $\Delta Q_{м.н.}$, и тепловых потерь в передаточных устройствах самих потребителей (в тепловых пунктах, теплообменниках и т.д.).

Энергетическая эффективность СЦТ может быть представлена и в виде произведения коэффициентов, определяющих энергетическую эффективность отдельных ее элементов: источника $\eta_{ист.}$, тепловой сети $\eta_{сети}$, и теплоиспользующих устройств потребителей энергии $\eta_{нопр.}$:

$$\eta = \eta_{ист.} \cdot \eta_{сети} \cdot \eta_{нопр.} \quad (2)$$

По различным оценкам, в реальных условиях эксплуатации КПД источника теплоты составляет в среднем, 70...96%, тепловой сети – 60...92%, теплоиспользующих установок – 80...95%. В итоге суммарный КПД системы теплоснабжения может составлять 35... 85%.

Как видно, наиболее проблемным звеном в этой цепочке являются системы транспорта тепловой энергии – тепловые сети. Коэффициент полезного действия тепловой сети, $\eta_{мс}$, представляет собой отношение количества теплоты, переданной потребителям $Q_{нопр.}$, к количеству теплоты $Q_{омн.}$, отпущенной в тепловую сеть источником:

$$\eta_{мс} = \frac{Q_{нопр.}}{Q_{омн.}} = \frac{Q_{омн.} - \Delta Q_{м.н.}}{Q_{омн.}}, \quad (3)$$

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

Величина тепловых потерь при транспорте энергии находится в прямой зависимости от геометрических параметров тепловой сети: материальной характеристики, суммарной протяженности, среднего диаметра, радиуса действия.

Для анализа эффективности централизованного теплоснабжения также могут использоваться удельная материальная характеристика μ и удельная длина λ тепловой сети в зоне действия источника теплоты:

$$\mu = \frac{M}{Q_{сум}}, \quad \lambda = \frac{L}{Q_{сум}}, \quad (4)$$

где M – материальная характеристика тепловой сети, $м^2$; $Q_{сум}$ – суммарная (расчетная) тепловая нагрузка (тепловая мощность потребления), присоединенная к тепловым сетям, Вт; L – суммарная длина трубопроводов тепловой сети, образующих зону действия источника теплоты, м.

В свою очередь, материальная характеристика тепловой сети может быть выражена следующим образом:

$$M = \sum d_i \cdot l_i = d_{ср.} \cdot L, \quad (5)$$

где d_i и l_i – соответственно диаметры и длины участков, составляющих тепловую сеть, м; $d_{ср.}$ – средневзвешенный диаметр участков тепловой сети, м.

Одновременное решение уравнений (4) и (5) позволяет получить соотношение, связывающее между собой удельную материальную характеристику сети с ее удельной длиной через средний диаметр:

$$\mu = \lambda \cdot d_{ср.} \quad (6)$$

Чем меньше удельная материальная характеристика сети, тем эффективнее система транспорта тепловой энергии в системе теплоснабжения. Следовательно, удельная материальная характеристика является масштабом соотношения величин тепловых потерь сети и общего объема теплового потребления в ней и может рассматриваться в качестве одного из критериев эффективности сети.

Еще одним критерием, характеризующим эффективность транспорта теплоты, служит величина поверхностной (или линейной) плотности теплового потока, q , Вт/м² (или Вт/м), с поверхности трубопроводов в окружающую среду. Ее рост свидетельствует о снижении КПД тепловой сети.

Теоретическое обоснование предлагаемой методики расчета тепловой изоляции. Как следует из уравнения (3), КПД тепловой сети определяется соотношением:

$$\eta_{мс} = 1 - \frac{\Delta Q_{м.н.}}{Q_{нопр.} + \Delta Q_{м.н.}} \quad (7)$$

Величина тепловых потерь находится в прямой зависимости от разности средних температур теплоносителя, τ_{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:

$$\Delta Q_{m.n.} = \frac{(\tau_{cp} - t_{o.c.})}{R_{u.k.}} \cdot \pi \cdot \sum d_i \cdot l_i. \quad (8)$$

В приведенном выше выражении можно выделить два комплекса:

$$q_F = \frac{(\tau_{cp} - t_{o.c.})}{R_{u.k.}} \quad \text{и} \quad M = \sum d_i \cdot l_i. \quad (9)$$

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

Произведя подстановку уравнений (9) в уравнение (8), получим:

$$\Delta Q_{m.n.} = q_F \cdot \pi \cdot M. \quad (10)$$

Входящая в уравнение (7) величина теплового потребления $Q_{номр.}$ 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 эта величина, исходя из расчетного годового потребления теплоты применительно к жилой застройке населенного пункта, может быть определена на основании методики, изложенной в [7], Втч:

$$Q_{номр.}^{год} = a \cdot F \cdot \left[q_o \cdot (1 + k_1 + k_1 \cdot k_2) \cdot \frac{t_g^p - t_n^{cp}}{t_g^p - t_{но}^p} \cdot n_o + \frac{q_{зв}}{f} \cdot (n_o + n_{н.о}) \right], \quad (11)$$

а расчетная тепловая нагрузка

$$Q_{номр.}^{расч} = q_o \cdot a \cdot F \cdot (1 + k_1 + k_1 \cdot k_2) + q_{зв} \cdot \frac{a \cdot F}{f}, \quad (12)$$

где q_o и $q_{зв}$ – соответственно укрупненные показатели 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 и k_2 – коэффициенты, учитывающие расход теплоты соответственно на отопление общественных зданий и вентиляцию общественных зданий; при отсутствии конкретных данных принимаются на основании требований [7]; a – плотность жилой застройки, м²/га, принимаемая на основании требований [8]; F – площадь застраиваемой территории брутто, га; f – расчетная норма общей площади на одного человека, м²/чел.; t_g^p , $t_{но}^p$, t_n^{cp} – соответственно температура расчетная внутреннего воздуха помещений, расчетная наружного воздуха, средняя наружного воздуха за отопительный период, °С; n_o и $n_{н.о}$ – продолжительность отопительного и неоперительного периода, ч.

Материальная характеристика тепловой сети при разработке математической модели может быть вычислена на основании известных соотношений [9]:

$$d_i = A_d \cdot \frac{G_i^{0.38}}{R^{0.19}}, \quad (13)$$

$$M = \sum A_d \cdot \frac{G_i^{0.38}}{R^{0.19}} \cdot l_i; \quad G_i = \frac{Q_{номр.i}}{c \cdot (\tau_1^p - \tau_2^p)};$$

$$M = \sum A_d \cdot \frac{Q_{номр.i}^{0.38}}{R^{0.19} \cdot [c \cdot (\tau_1^p - \tau_2^p)]^{0.38}} \cdot l_i,$$

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; G_i – расчетный расход теплоносителя на участке сети, кг/с.

Обобщая уравнения (7)–(13), можно получить соотношение, связывающее между собой КПД тепловой сети, плотность застройки, нормированную плотность теплового потока, через изолированную поверхность и материальную характеристику сети:

$$\eta_{m.c} = 1 - \left[1 + \frac{a \cdot F \left[q_o \cdot (1 + k_1 + k_1 \cdot k_2) \cdot \frac{t_6^p - t_n^{cp}}{t_6^p - t_{no}^p} \cdot n_o + \frac{q_{z6}}{f} \cdot (n_o + n_{n.o}) \right]}{q_F \cdot \pi \cdot M \cdot (n_o + n_{n.o})} \right]^{-1}. \quad (14)$$

Из этого уравнения следует зависимость, позволяющая на стадии проектирования принимать величину нормированного теплового потока через изолированную поверхность в зависимости от наперед заданного значения КПД тепловой сети:

$$q_F = \frac{(1 - \eta_{m.c}) \cdot a \cdot F \left[q_o \cdot (1 + k_1 + k_1 \cdot k_2) \cdot \frac{t_6^p - t_n^{cp}}{t_6^p - t_{no}^p} \cdot n_o + \frac{q_{z6}}{f} \cdot (n_o + n_{n.o}) \right]}{\eta_{m.c} \cdot \pi \cdot M \cdot (n_o + n_{n.o})}. \quad (15)$$

Формирование расчетной модели. После подстановки уравнений (13) в уравнение (14) получим

$$\eta = 1 - \left[1 + \frac{(a \cdot F)^{0.62} \cdot \left[q_o \cdot (1 + k_1 + k_1 \cdot k_2) \cdot \frac{t_6^p - t_n^{cp}}{t_6^p - t_{no}^p} \cdot n_o + \frac{q_{z6}}{f} \cdot (n_o + n_{n.o}) \right] \cdot R^{0.19} \cdot [c \cdot (\tau_1^p - \tau_2^p)]^{0.38}}{2 \cdot \pi \cdot q_{f,i} \cdot A_d \cdot l_i \cdot (1 + \alpha) \cdot (n_o + n_{n.o}) \cdot \left[q_o \cdot (1 + k_1 + k_1 \cdot k_2) + \frac{q_{z6}}{f} \right]^{0.38}} \right]^{-1}. \quad (16)$$

Теперь свяжем q_F и $\eta_{m.c}$ с удельной материальной характеристикой тепловой сети μ . Для этого представим уравнение (3) в следующем виде:

$$\eta_{m.c} = \frac{Q_{omn.}^{zod} - \Delta Q_{m.n.}^{zod}}{Q_{omn.}^{zod}} = 1 - \frac{\Delta Q_{m.n.}^{zod}}{Q_{omn.}^{zod}}, \quad (17)$$

где $\Delta Q_{m.n.}^{zod}$ – тепловые потери трубопроводами тепловой сети в окружающую среду в течение года; $Q_{omn.}^{zod}$ – количество теплоты, отпущенной в тепловую сеть с коллекторов источника в течение года.

Объем отпущенной в течение года с коллекторов источника тепловой энергии может быть вычислен путем перехода к средним значениям потребления и тепловых потерь:

$$Q_{omn.}^{zod} = \Delta Q_{m.n.}^{cp} \cdot n_{m.n.} + Q_{nomp.}^{cp} \cdot n_{nomp.}, \quad (18)$$

где $n_{m.n.}$ и $n_{nomp.}$ – соответственно годовая продолжительность периода, в течение которого имеют место тепловые потери, и годовая продолжительность периода, в течение которого осуществляется потребление тепловой энергии (в общем случае продолжительность периода потребления теплоты может быть меньше продолжительности периода, когда наблюдаются тепловые потери, например, при сохранении циркуляции в трубопроводах в отсутствие потребления теплоты на горячее водоснабжение), ч.; $\Delta Q_{m.n.}^{cp}$ и $Q_{nomp.}^{cp}$ – соответственно средние за год величины мощности тепловых потерь и мощности теплового потребления, Вт.

Переход от максимальной величины мощности теплового потребления к средней может быть осуществлен так:

$$Q_{nomp.}^{cp} = Q_{nomp.}^p \cdot k_t, \quad k_t = \frac{t_6^p - t_n^{cp}}{t_6^p - t_{no}^p}, \quad (19)$$

В результате, уравнение (17) может быть сведено к виду:

$$\frac{1}{1 - \eta_{m.c}} = 1 + \frac{Q_{nomp.}^p \cdot k_t \cdot n_{nomp.}}{\Delta Q_{m.n.}^{cp} \cdot n_{m.n.}}. \quad (20)$$

Приняв во внимание уравнение (4) и отнеся плотность теплового потока через изолированную поверхность к поверхности материальной характеристики сети ($\pi \cdot M$), в итоге получим выражение, связывающее плотность теплового потока, q_F , исчисленную по величине поверхности материальной характеристики и сети ($\pi \cdot M$), с удельной материальной характеристикой и коэффициентом полезного действия сети, Вт/м²:

$$q_F = \frac{k_{прив.} \cdot (1 - \eta_{мс})}{\pi \cdot \mu \cdot \eta_{мс}}, \quad (21)$$

где $k_{прив.} = k_i \cdot n_{норм.} / n_{м.п.}$ – коэффициент приведения к среднегодовым параметрам работы системы теплоснабжения; μ – удельная материальная характеристика тепловой сети, м²/кВт.

Связь между поверхностной, q_F (Вт/м²), и линейной, q_l (Вт/м), плотностями теплового потока устанавливается соотношением:

$$q_F = q_l / (\pi \cdot d), \quad (22)$$

где $\pi \cdot d$ – площадь поверхности участка трубопровода единичной длины с диаметром, равным d .

Совокупность уравнений (4)–(22) представляет собой математическую модель, позволяющую исследовать взаимосвязь между плотностью теплового потока с поверхности тепловой изоляции в окружающей среду, геометрическими параметрами тепловой сети и заданной величиной её КПД с учетом средней плотности теплового потребления в пределах территории района теплоснабжения.

Полученные результаты. На основании полученных уравнений осуществлены численные исследования полученной математической модели при изменении ее отдельных параметров:

- определен характер зависимости КПД тепловой сети от плотности жилой застройки при различных значениях суммарной протяженности сети и постоянном значении удельных потерь давления R , используемом для вычисления диаметров участков;

- выявлен характер зависимости отнесенного к единице поверхности материальной характеристики сети удельного теплового потока в окружающую среду от плотности жилой застройки при различной протяженности сети и постоянной величине удельных потерь давления R ;

- найдена комплексная взаимосвязь между КПД тепловой сети, плотностью жилой застройки и потребной расчетной плотностью теплового потока с поверхности изоляции в окружающую среду, а также исследована взаимосвязь между плотностью теплового потока в окружающую среду и удельной материальной характеристикой сети при различных наперед заданных значениях КПД тепловой сети.

Результаты численных исследований представлены в графической форме на рисунках 1–3.

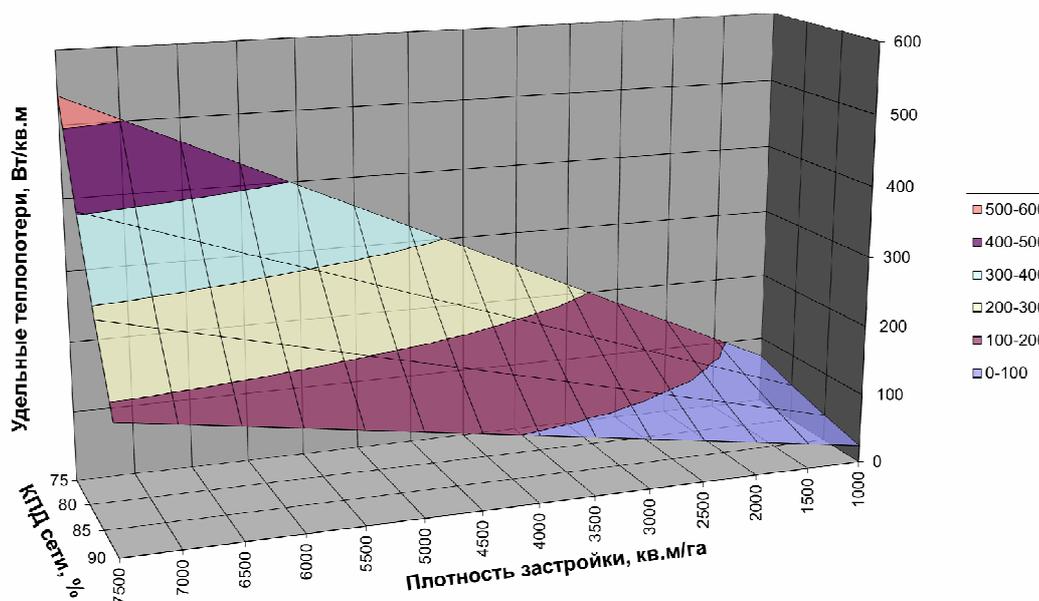


Рисунок 1. – Зависимость плотности теплового потока в окружающую среду от заданного КПД тепловой сети и плотности жилой застройки при постоянной материальной характеристике сети

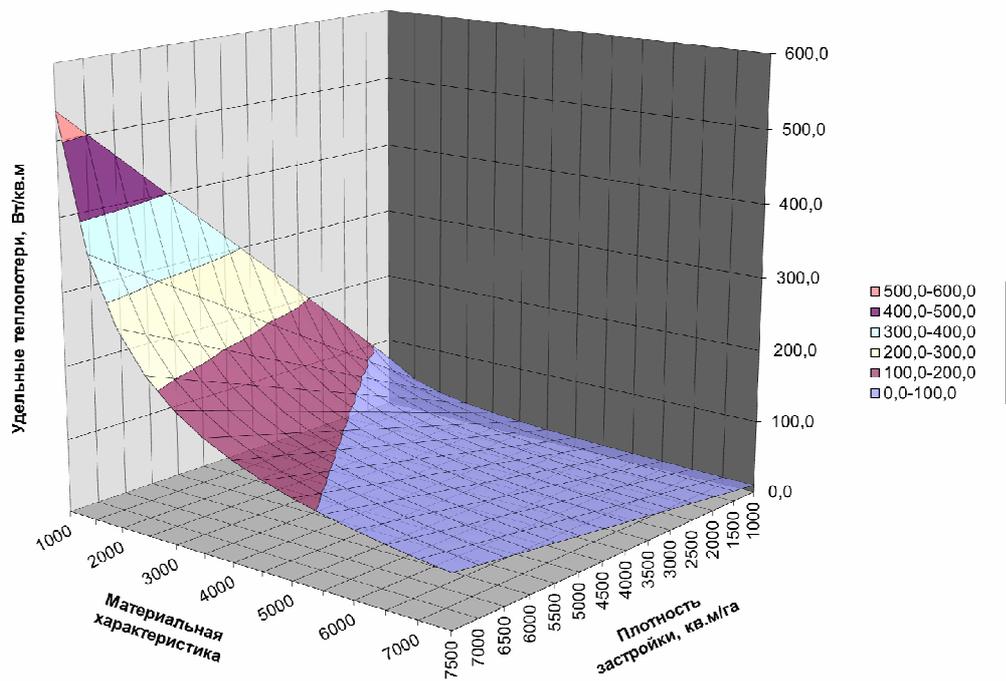


Рисунок 2. – Зависимость плотности теплового потока в окружающую среду от плотности жилой застройки и материальной характеристики сети при заданном КПД тепловой сети в 90%

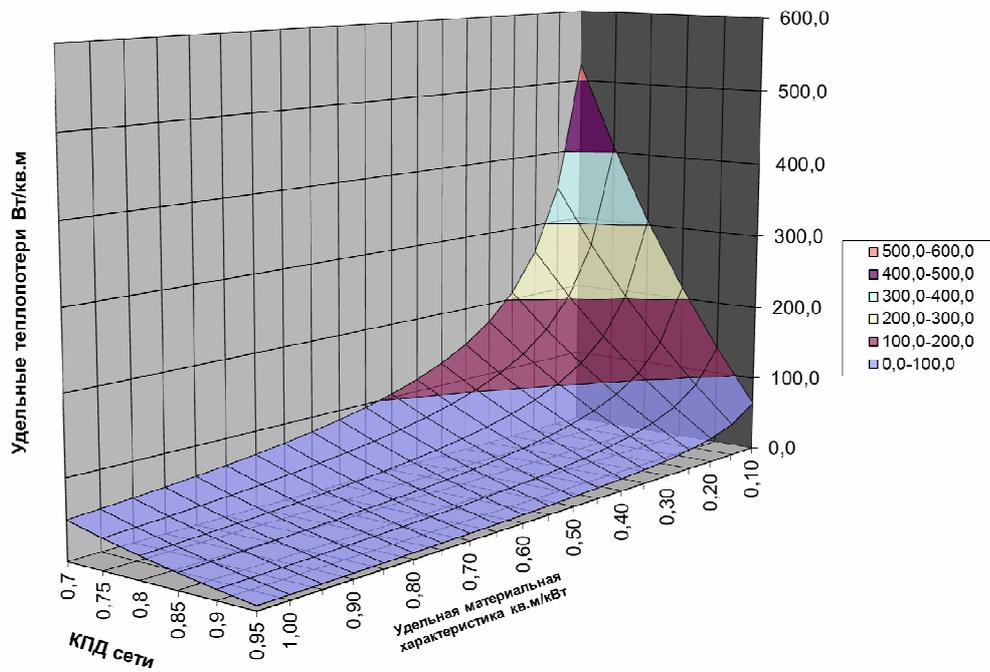


Рисунок 3. – Зависимость плотности теплового потока в окружающую среду от заданного КПД тепловой сети и удельной материальной характеристики сети

- При производстве вычислений приняты следующие параметры работы системы теплоснабжения:
- расчетные температуры теплоносителя в подающей и обратной магистрали 130 и 70 °С соответственно;
 - качественное регулирование тепловой нагрузки по температурному графику 130/70 °С;
 - расчетная температура наружного воздуха (температура наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92) минус 25 °С;
 - средняя за отопительный период температура наружного воздуха – минус 1,5 °С;
 - продолжительность отопительного периода – 4800 ч;
 - продолжительность неотопительного периода – 3600 ч;
 - площадь территории района теплоснабжения – 50 га;
 - норма общей площади на одного жителя – 20 м²;
 - нормы расхода теплоты:
 - на отопление – 50 Вт/м²,
 - на горячее водоснабжение – 376 Вт/чел.

В таблице 1 представлены результаты вычислений плотности теплового потока и КПД тепловой сети, выполненных с использованием формулы (21), в сравнении с аналогичными показателями, полученными при использовании нормативных значений плотности теплового потока с поверхности изоляции в окружающую среду при бесканальной прокладке [10, таблица 11].

В качестве расчетной модели использована вновь проектируемая тепловая сеть, обеспечивающая нужды отопления и горячего водоснабжения жилой застройки, расположенной на 10 участках площадью 1 га каждый с одинаковой плотностью застройки и при тех же параметрах работы системы теплоснабжения, что указаны выше.

Вычисленная по формуле (21) величина q_F преобразуется по формуле (22) в среднюю для сети линейную плотность теплового потока, соответствующую среднему диаметру участков тепловой сети.

Отношение полученного таким образом значения (графа 8 таблицы 1, строка «Вся сеть») к среднему нормативному значению линейной плотности (графа 6, та же строка) является поправочным коэффициентом, на который необходимо умножить нормативные величины линейной плотности теплового потока (графа 6), чтобы получить оптимальные значения, обеспечивающие заданное значение КПД тепловой сети в 95% (графа 8).

Таблица 1. – Сравнение расчетов с использованием существующих нормативов с результатами, полученными на основе разработанного метода

№ участка	Максимальная тепловая нагрузка, Вт	Расчетный диаметр, м	Стандартный диаметр, мм	Материальная характеристика, м ²	Сравнение результатов, полученных:			
					при использовании ТКП 45-4.02-91-2009		при использовании предлагаемой методики	
					нормативная плотность теплового потока, Вт/м	КПД при нормативной плотности теплового потока	оптимальная плотность теплового потока, Вт/м	КПД при расчетной плотности теплового потока
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Плотность застройки 2000 м²/га, удельные потери на трение 100 Па/м, заданный КПД сети 95%</i>								
1	1376000	0,093	100	20	76	0,959	58,5	0,968
2	1238400	0,089	80	16	72	0,957	55,5	0,967
3	1100800	0,085	80	16	72	0,952	55,5	0,963
4	963200	0,081	80	16	72	0,945	55,5	0,957
5	825600	0,077	80	16	72	0,937	55,5	0,951
6	688000	0,072	65	13	71	0,926	54,7	0,942
7	550400	0,066	65	13	71	0,909	54,7	0,929
8	412800	0,059	65	13	71	0,883	54,7	0,907
9	275200	0,050	50	10	63	0,850	48,5	0,880
10	137600	0,039	40	8	59	0,751	45,4	0,797
Вся сеть	7568000		средний 70,5	141	в среднем 67	0,933	средняя 51,6	0,95

Окончание таблицы 1

№ участка	Максимальная тепловая нагрузка, Вт	Расчетный диаметр, м	Стандартный диаметр, мм	Материальная характеристика, м ²	Сравнение результатов, полученных:			
					при использовании ТКП 45-4.02-91-2009		при использовании предлагаемой методики	
					нормативная плотность теплового потока, Вт/м	КПД при нормативной плотности теплового потока	оптимальная плотность теплового потока, Вт/м	КПД при расчетной плотности теплового потока
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Плотность застройки 2500 м²/га, удельные потери на трение 100 Па/м, заданный КПД сети 95%</i>								
1	1720000	0,101	100	20	76	0,967	67,2	0,971
2	1548000	0,097	100	20	72	0,965	63,6	0,969
3	1376000	0,093	100	20	72	0,961	63,6	0,966
4	1204000	0,088	80	16	72	0,956	63,6	0,961
5	1032000	0,083	80	16	72	0,949	63,6	0,955
6	860000	0,078	80	16	71	0,940	62,7	0,947
7	688000	0,072	65	13	71	0,926	62,7	0,934
8	516000	0,064	65	13	71	0,904	62,7	0,914
9	344000	0,055	50	10	63	0,876	55,7	0,889
10	172000	0,042	40	8	59	0,791	52,1	0,810
Вся сеть	9460000		средний 76	152	в среднем 73	0,946	средняя 64,5	0,95

Заключение. В результате исследования установлено, что величины плотности теплового потока через изолированную поверхность, обеспечивающие высокие значения КПД тепловой сети, существенно зависят от материальной характеристики сети и средней плотности жилой застройки в пределах территории района теплоснабжения. В то же время нормативные значения плотности теплового потока, принимаемые при расчете тепловой изоляции согласно требованиям ТНПА [3], не учитывают этих факторов.

При централизованном теплоснабжении малоэтажной и усадебной застройки плотность застройки, как правило, ниже 2500 м²/га, а удельная материальная характеристика тепловой сети имеет высокие значения.

Как следует из графика, приведенного на рисунке 3, с увеличением удельной материальной характеристики допустимая плотность теплового потока через изолированную поверхность трубопроводов тепловых сетей значительно снижается. Величина этого снижения зависит от требований, предъявляемых к КПД тепловой сети. Снижение требуемой плотности теплового потока тем больше, чем выше заданное значение КПД. В этом случае применение нормативных значений плотности тепловых потоков через изолированную поверхность трубопроводов тепловых сетей в соответствии с требованиями [3] может привести к занижению требуемого термического сопротивления изоляционной конструкции и, как следствие, повлечет за собой значительное ухудшение КПД тепловой сети и системы теплоснабжения в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нияковский, А.М. Формирование рациональной теплоэнергетической системы предприятий железобетонных изделий при их модернизации / А.М. Нияковский // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F, Строительство. Прикладные науки. – 2012. – № 8. – С. 103–108.
2. Нияковский, А.М. Интенсификация подъема температуры греющей среды в пропарочных камерах предприятий строительной индустрии / А.М. Нияковский, Э.И. Гончаров, Е.С. Добросольцева // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F, Строительство. Прикладные науки. – 2013. – № 8. – С. 101–106.
3. Нияковский, А.М. Управление температурными режимами тепловых сетей с целью снижения энергопотребления в системах теплоснабжения / А.М. Нияковский, В.А. Пшеничнюк, А.В. Григорович // Материалы докл. 48 междунар. науч.-техн. конф. преподавателей и студентов, посвящ. 50-летию университета ; Витеб. гос. ун-т. – Витебск, 2015. – С. 76–78.

4. 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.
5. Папушкин, В.Н. Радиус теплоснабжения. Хорошо забытое старое / В.Н. Папушкин // Новости теплоснабжения. – 2010. – № 10.
6. 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 ; Сиб. федеральный ун-т. – Красноярск, 2012. – 19 с.
7. Тепловые сети. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-4.02-182-2009 (02250). – Введ. 01.07.2010. – Минск : М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2010. – 70 с.
8. Градостроительство. Населенные пункты. Нормы планировки и застройки : ТКП 45-3.01-116-2008 (02250). – Введ. 01.07.2009. – Минск : М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2009. – 83 с.
9. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети / Е.Я. Соколов. – М. : Издат. дом МЭИ, 2000. – 472 с.
10. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-4.02-91-2009(02250). – Минск : М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2009.

Поступила 11.05.2017

TO THE CHOICE OF HEAT DENSITY IN THE DESIGN OF THERMAL INSULATION OF HEAT SUPPLY PIPELINES

A. NIYAKOVSKI, A. GONCHAROV, O. MISHUTO

The influence of the residential development density and the network geometric characteristics on the required effectiveness of the heat networks pipelines thermal insulation has been reviewed. The correlation between these parameters and the efficiency of the thermal energy transport system is shown. Methodology of the assessment of the required set density of a heat flow through an isolated surface when designing thermal insulation depending on the heat network geometric characteristics and the set efficiency of the heat energy transport system has been suggested.

Keywords: *heat networks, heat flow, the calculated density, thermal insulation, the offered method.*