

## Повышение энергоэффективности теплоизоляции трубопроводов тепловых сетей северных и северо-восточных регионов России

*Консультант проектного отдела В.С. Слепченко,  
ЗАО «РСУ-103»;  
советник генерального директора Г.П. Петраков\*,  
группа компаний «Сто Третий Трест»*

**Ключевые слова:** тепловые сети; теплоснабжение; трубопроводы в ППУ изоляции; энергосбережение; энергоэффективность; тепловые потери

Проблемы обеспечения тепловой энергией городов северных и северо-восточных регионов Российской Федерации в связи с достаточно суровыми климатическими условиями по своей значимости могут сравниться с проблемами обеспечения населения продовольствием и представляют задачу большой государственной важности. В крупных городах этих регионов, таких как Мурманск, Апатиты, Архангельск, Сургут, Ханты-Мансийск, Норильск, Якутск, функционируют большие и энергозатратные системы централизованного теплоснабжения.

Наиболее слабым звеном централизованных систем теплоснабжения являются теплопроводы и трубопроводы горячего водоснабжения. Схемы и средства транспортировки теплоносителя в системах централизованного теплоснабжения, построенные в СССР, характеризуются недостаточной надежностью, высокой повреждаемостью трубопроводов тепловой сети и большими тепловыми потерями в них.

Для обеспечения экономической эффективности и надежности теплоснабжения необходимо интенсивно проводить модернизацию тепловых сетей. Опыт эксплуатации действующих тепловых сетей показал, что по сравнению с другими типами конструкций тепловой изоляции значительное преимущество имеют трубопроводы с пенополиуретановой (ППУ) изоляцией. Например, удельные тепловые потери теплопровода с тепловой изоляцией из сухой минеральной ваты в 4 раза больше, чем с изоляции из ППУ [1]. При этом потери тепловой энергии можно сократить в 2-3 раза по сравнению с нормативными.

Целью нашей статьи является оценка экономической эффективности увеличения толщины слоя изоляционного покрытия трубопроводов тепловой сети. В качестве расчетной тепловой сети рассмотрим тепломагистраль от Апатитской ТЭЦ до теплообменников центрального теплового пункта (ЦТП) г. Кировск Мурманской области [2]. Подключение тепловых сетей Кировска в соответствии с технической политикой ОАО «ТГК-1» осуществляется по независимой схеме через водо-водяные теплообменники в ЦТП.

В качестве исходных данных для расчета принимаем следующее:

- протяженность тепломагистрали – 12,45 км, подача теплоносителя – по двум надземным подающим трубопроводам диаметром 630x12 мм, возврат – по одному надземному трубопроводу диаметром 720x9 мм [2];
- график температур в отопительный период – 150/80 °С, график температур в межотопительный период – 70/60 °С (или ГВС по одному трубопроводу с температурой 70 °С), избыточное давление – до 2,5 МПа [2];
- средняя температура наружного воздуха за отопительный период  $t_{н.в.от.п.} = -4,4$  °С [4, 5];
- средняя температура наружного воздуха за межотопительный период  $t_{н.в.межот.п.} = 6,6$  °С [4, 5];
- средняя расчетная температура наружного воздуха  $t_{н.в.} = -0,5$  °С [4, 5];
- средняя температура теплоносителя за отопительный период в подающем трубопроводе  $t_{п.от.п.} = 89$  °С [2];
- средняя температура теплоносителя за отопительный период в обратном трубопроводе  $t_{о.от.п.} = 58$  °С [2];
- средняя температура теплоносителя за межотопительный период на нужды горячего водоснабжения (ГВС) в подающем трубопроводе  $t_{п.межот.п.} = 69$  °С [2];
- средняя температура теплоносителя за межотопительный период на нужды ГВС в обратном трубопроводе  $t_{о.межот.п.} = 58$  °С [2];
- продолжительность отопительного периода  $T_{от.п.} = 6000$  ч, продолжительность межотопительного периода  $T_{межот.п.} = 2400$  ч [3];
- плотность ППУ изоляции – 60 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность ППУ на углекислотном вспенивателе при средней температуре 50 °С – 0,033 Вт/(м·°С) [2, 6];

- проектная толщина тепловой изоляции (слой ППУ с защитной оболочкой из оцинкованной стали) трубопроводов – 85 мм [2, 7], что соответствует обычному типу для регионов России с холодным климатом.

Для того чтобы оценить экономическую эффективность увеличения толщины теплоизоляции, например, на 50 мм (с 85 мм до 135 мм), выполним следующие действия.

1. Определим удельные потери тепловой энергии для стальных трубопроводов в ППУ изоляции с защитной оболочкой из оцинкованного железа по ГОСТ 30732-2006 [6] толщиной 85 мм.

Средние суммарные удельные тепловые потери в отопительный период по подающему трубопроводу определяются [9, 10] по формуле:

$$q_{n.n.} = \left[ q_{n.t_1} + (q_{n.t_2} - q_{n.t_1}) \frac{(t_{n.om.n.} - t_{n.в.ом.n.}) - (t_1 - t_{n.в.})}{(t_2 - t_{n.в.}) - (t_1 - t_{n.в.})} \right] =$$

$$= \left[ 47,9 + (74,9 - 47,9) \frac{(89 + 4,4) - (60 + 0,5)}{(90 + 0,5) - (60 + 0,5)} \right] = 77,5 \text{ ккал/ч}\cdot\text{м}, \quad (1)$$

где  $q_{n.t_1} = 47,9 \text{ ккал/ч}\cdot\text{м}$  – расчетное значение плотности для подающего трубопровода со средней температурой теплоносителя  $t_1 = 60 \text{ }^\circ\text{C}$  по формулам (2-6);

$q_{n.t_2} = 74,9 \text{ ккал/ч}\cdot\text{м}$  – расчетное значение плотности для подающего трубопровода со средней температурой теплоносителя  $t_2 = 90 \text{ }^\circ\text{C}$  по формулам (2-6);

$t_{n.om.n.} = 89 \text{ }^\circ\text{C}$  – среднее значение температуры в подающем трубопроводе (см. исходные данные);

$t_{n.в.ом.n.} = -4,4 \text{ }^\circ\text{C}$  – средняя температура наружного воздуха (см. исходные данные);

$t_{n.в.} = -0,5 \text{ }^\circ\text{C}$  – расчетная температура наружного воздуха (см. исходные данные).

Значение плотности теплового потока, проходящего сквозь теплоизоляцию, для подающего трубопровода со средней температурой теплоносителя  $t_1 = 60 \text{ }^\circ\text{C}$  вычислено следующим образом.

Термическое сопротивление слоя ППУ подающего трубопровода определено [7, 11] по формуле:

$$R_{уз} = \frac{1}{2\pi\lambda_{уз}} \ln\left(\frac{d_{уз}}{d_n}\right) = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,033} \ln\left(\frac{0,7982}{0,63}\right) = 1,14 \text{ м}\cdot\text{ }^\circ\text{C/Вт}, \quad (2)$$

где  $\lambda_{уз} = 0,033 \text{ Вт/м}\cdot\text{ }^\circ\text{C}$  – коэффициент теплопроводности слоя ППУ;

$d_{уз} = d_n + 2h_{уз} = 0,63 + 2 \cdot 0,0841 = 0,7982 \text{ м}$  – наружный диаметр слоя ППУ;

$h_{уз} = 0,0841 \text{ м}$  – толщина слоя ППУ;

$d_n = 0,63 \text{ м}$  – наружный диаметр стальной трубы.

Термическое сопротивление покровного слоя (защитная оболочка из оцинкованной стали) подающего трубопровода определено [7, 11] по формуле:

$$R_{nc} = \frac{1}{2\pi\lambda_n} \ln\left(\frac{d_n}{d_{уз}}\right) = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 40} \ln\left(\frac{0,8}{0,7982}\right) = 0,00001 \text{ м}\cdot\text{ }^\circ\text{C/Вт} \quad (3)$$

где  $\lambda_n = 40 \text{ Вт/м}\cdot\text{ }^\circ\text{C}$  – коэффициент теплопроводности оцинкованной стали;

$d_n = d_{уз} + 2h_n = 0,7982 + 2 \cdot 0,0009 = 0,8 \text{ м}$  – наружный диаметр покровного слоя;

$h_n = 0,0009 \text{ м}$  – толщина покровного слоя.

Термическое сопротивление на поверхности покровного слоя подающего трубопровода определено [7, 11] по формуле:

$$R_n = \frac{1}{\pi d_n \alpha} = \frac{1}{3,14 \cdot 0,8 \cdot 20} = 0,02 \text{ м}\cdot\text{ }^\circ\text{C/Вт}, \quad (4)$$

где  $\alpha = 20 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{ }^\circ\text{C}$  – коэффициент теплоотдачи на поверхности покровного слоя для надземной прокладки при скорости ветра 5 м/с.

Слепченко В.С., Петраков Г.П. Повышение энергоэффективности теплоизоляции трубопроводов тепловых сетей северных и северо-восточных регионов России

Суммарное термическое сопротивление теплоизоляции подающего трубопровода определено [7, 11] по формуле:

$$R = R_{из} + R_{нс} + R_n = 1,14 + 0,00001 + 0,02 = 1,16 \text{ м} \cdot \text{°C}/\text{Вт}. \quad (5)$$

Плотность теплового потока подающего трубопровода со средней температурой теплоносителя  $t_1 = 60 \text{ °C}$  определена [7, 11] по формуле:

$$q = \frac{t_1 - t_{н.в.ом.н.}}{R} = \frac{60 - (-4,4)}{1,16} = 55,7 \text{ Вт/м}. \quad (6)$$

В практической системе единиц получим  $q = 55,7 \text{ Вт/м} = 47,9 \text{ ккал/ч} \cdot \text{м}$ .

Аналогично по формулам (2-6) вычисляется значение плотности теплового потока для подающего трубопровода со средней температурой теплоносителя  $t_2 = 90 \text{ °C}$ .

Средние суммарные удельные тепловые потери в отопительный период по обратному трубопроводу определяются [9, 10] по формуле (1):

$$q_{н.н.} = \left[ q_{н.t_1} + (q_{н.t_2} - q_{н.t_1}) \frac{(t_{о.ом.н.} - t_{н.в.ом.н.}) - (t_1 - t_{н.в.})}{(t_2 - t_{н.в.}) - (t_1 - t_{н.в.})} \right] =$$

$$= \left[ 54,0 + (84,4 - 54,0) \frac{(58 + 4,4) - (60 + 0,5)}{(90 + 0,5) - (60 + 0,5)} \right] = 55,9 \text{ ккал/ч} \cdot \text{м}, \quad (7)$$

где  $q_{н.t_1} = 54,0 \text{ ккал/ч} \cdot \text{м}$  – расчетное значение плотности для обратного трубопровода со средней температурой теплоносителя  $t_1 = 60 \text{ °C}$  по формулам (2-6);

$q_{н.t_2} = 84,4 \text{ ккал/ч} \cdot \text{м}$  – расчетное значение плотности для обратного трубопровода со средней температурой теплоносителя  $t_2 = 90 \text{ °C}$  по формулам (2-6);

$t_{о.ом.н.} = 58 \text{ °C}$  – среднее значение температуры в обратном трубопроводе (см. исходные данные).

Средние суммарные удельные тепловые потери в межотопительный период по подающему трубопроводу определяются [9, 10] по формуле:

$$q_{н.н.} = \left[ q_{н.t_1} + (q_{н.t_2} - q_{н.t_1}) \frac{(t_{н.межот.н.} - t_{н.в.межот.н.}) - (t_1 - t_{н.в.})}{(t_2 - t_{н.в.}) - (t_1 - t_{н.в.})} \right] =$$

$$= \left[ 40,7 + (49,4 - 40,7) \frac{(69 - 6,6) - (60 + 0,5)}{(70 + 0,5) - (60 + 0,5)} \right] = 42,3 \text{ ккал/ч} \cdot \text{м}, \quad (8)$$

где  $q_{н.t_1} = 40,7 \text{ ккал/ч} \cdot \text{м}$  – расчетное значение плотности для подающего трубопровода со средней температурой горячей воды  $t_1 = 60 \text{ °C}$  по формулам (2-6);

$q_{н.t_2} = 49,4 \text{ ккал/ч} \cdot \text{м}$  – расчетное значение плотности для подающего трубопровода со средней температурой горячей воды  $t_2 = 70 \text{ °C}$  по формулам (2-6);

$t_{н.межот.н.} = 69 \text{ °C}$  – среднее значение температуры в подающем трубопроводе (см. исходные данные);

$t_{н.в.межот.н.} = 6,6 \text{ °C}$  – средняя температура наружного воздуха (см. исходные данные);

$t_{н.в.} = -0,5 \text{ °C}$  – расчетная температура наружного воздуха (см. исходные данные).

Средние суммарные удельные тепловые потери в межотопительный период по обратному трубопроводу определяются [9, 10] по формуле:

$$q_{н.н.} = \left[ q_{н.t_1} + (q_{н.t_2} - q_{н.t_1}) \frac{(t_{о.межот.н.} - t_{н.в.межот.н.}) - (t_1 - t_{н.в.})}{(t_2 - t_{н.в.}) - (t_1 - t_{н.в.})} \right] =$$

$$= \left[ 45,9 + (55,6 - 45,9) \frac{(58 - 6,6) - (60 + 0,5)}{(70 + 0,5) - (60 + 0,5)} \right] = 37,0 \text{ ккал/ч} \cdot \text{м}, \quad (9)$$

где  $q_{н.t_1} = 45,9 \text{ ккал/ч} \cdot \text{м}$  – расчетное значение плотности для обратного трубопровода со средней температурой горячей воды  $t_1 = 60 \text{ °C}$  по формулам (2-6);

$q_{н.т_2} = 55,6$  ккал/ч·м – расчетное значение плотности для обратного трубопровода со средней температурой горячей воды  $t_2 = 70$  °С по формулам (2-6);

$t_{о.межот.п.} = 58$  °С – среднее значение температуры в обратном трубопроводе (см. исходные данные).

2. Определим удельные тепловые потери для стальных трубопроводов в ППУ изоляции с защитной оболочкой из оцинкованного железа по ГОСТ 30732-2006 [6] толщиной 135 мм (усиленный тип для северного региона).

Средние суммарные удельные тепловые потери в отопительный период по подающему трубопроводу определяются по формуле (1):

$$q_{н.н.} = \left[ q_{н.т_1} + (q_{н.т_2} - q_{н.т_1}) \frac{(t_{н.ом.н.} - t_{н.в.ом.н.}) - (t_1 - t_{н.в.})}{(t_2 - t_{н.в.}) - (t_1 - t_{н.в.})} \right] =$$

$$= \left[ 32,2 + (50,3 - 32,2) \frac{(89 + 4,4) - (60 + 0,5)}{(90 + 0,5) - (60 + 0,5)} \right] = 52,1 \text{ ккал/ч·м,}$$

где  $q_{н.т_1} = 32,2$  ккал/ч·м – расчетное значение плотности для подающего трубопровода со средней температурой теплоносителя  $t_1 = 60$  °С по формулам (2-6);

$q_{н.т_2} = 50,3$  ккал/ч·м – расчетное значение плотности для подающего трубопровода со средней температурой теплоносителя  $t_2 = 90$  °С по формулам (2-6);

$t_{н.ом.н.} = 89$  °С – среднее значение температуры в подающем трубопроводе (см. исходные данные);

$t_{н.в.ом.н.} = -4,4$  °С – средняя температура наружного воздуха (см. исходные данные);

$t_{н.в.} = -0,5$  °С – расчетная температура наружного воздуха (см. исходные данные).

Средние суммарные удельные тепловые потери в отопительный период по обратному трубопроводу определяются по формуле (7):

$$q_{н.н.} = \left[ q_{н.т_1} + (q_{н.т_2} - q_{н.т_1}) \frac{(t_{о.ом.н.} - t_{н.в.ом.н.}) - (t_1 - t_{н.в.})}{(t_2 - t_{н.в.}) - (t_1 - t_{н.в.})} \right] =$$

$$= \left[ 36,0 + (56,4 - 36,0) \frac{(58 + 4,4) - (60 + 0,5)}{(90 + 0,5) - (60 + 0,5)} \right] = 37,3 \text{ ккал/ч·м,}$$

где  $q_{н.т_1} = 36,0$  ккал/ч·м – расчетное значение плотности для обратного трубопровода со средней температурой теплоносителя  $t_1 = 60$  °С по формулам (2-6);

$q_{н.т_2} = 56,4$  ккал/ч·м – расчетное значение плотности для обратного трубопровода со средней температурой теплоносителя  $t_2 = 90$  °С по формулам (2-6);

$t_{о.ом.н.} = 58$  °С – среднее значение температуры в обратном трубопроводе (см. исходные данные).

Средние суммарные удельные тепловые потери в межотопительный период по подающему трубопроводу определяются по формуле (8):

$$q_{н.н.} = \left[ q_{н.т_1} + (q_{н.т_2} - q_{н.т_1}) \frac{(t_{н.межот.п.} - t_{н.в.межот.п.}) - (t_1 - t_{н.в.})}{(t_2 - t_{н.в.}) - (t_1 - t_{н.в.})} \right] =$$

$$= \left[ 27,3 + (33,2 - 27,3) \frac{(69 - 6,6) - (60 + 0,5)}{(70 + 0,5) - (60 + 0,5)} \right] = 28,5 \text{ ккал/ч·м,}$$

где  $q_{н.т_1} = 27,3$  ккал/ч·м – расчетное значение плотности для подающего трубопровода со средней температурой горячей воды  $t_1 = 60$  °С по формулам (2-6);

$q_{н.т_2} = 33,2$  ккал/ч·м – расчетное значение плотности для подающего трубопровода со средней температурой горячей воды  $t_2 = 70$  °С по формулам (2-6);

Слепченко В.С., Петраков Г.П. Повышение энергоэффективности теплоизоляции трубопроводов тепловых сетей северных и северо-восточных регионов России

$t_{n.межот.п.} = 69 \text{ }^\circ\text{C}$  – среднее значение температуры в подающем трубопроводе (см. исходные данные);

$t_{н.в.межот.п.} = 6,6 \text{ }^\circ\text{C}$  – средняя температура наружного воздуха (см. исходные данные);

$t_{н.в.} = -0,5 \text{ }^\circ\text{C}$  – расчетная температура наружного воздуха (см. исходные данные).

Средние суммарные удельные тепловые потери в межотопительный период по обратному трубопроводу определяются по формуле (9):

$$q_{п.н.} = \left[ q_{н.т_1} + (q_{н.т_2} - q_{н.т_1}) \frac{(t_{о.межот.п.} - t_{н.в.межот.п.}) - (t_1 - t_{н.в.})}{(t_2 - t_{н.в.}) - (t_1 - t_{н.в.})} \right] =$$

$$= \left[ 30,6 + (37,2 - 30,6) \frac{(58 - 6,6) - (60 + 0,5)}{(70 + 0,5) - (60 + 0,5)} \right] = 24,7 \text{ ккал/ч}\cdot\text{м},$$

где  $q_{н.т_1} = 30,6 \text{ ккал/ч}\cdot\text{м}$  – расчетное значение плотности для обратного трубопровода со средней температурой горячей воды  $t_1 = 60 \text{ }^\circ\text{C}$  по формулам (2-6);

$q_{н.т_2} = 37,2 \text{ ккал/ч}\cdot\text{м}$  – расчетное значение плотности для обратного трубопровода со средней температурой горячей воды  $t_2 = 70 \text{ }^\circ\text{C}$  по формулам (2-6);

$t_{о.межот.п.} = 58 \text{ }^\circ\text{C}$  – среднее значение температуры в обратном трубопроводе (см. исходные данные).

### 3. Определим экономический эффект утолщения теплоизоляции трубопроводов.

Средние часовые потери тепла за расчетный период функционирования теплотрассы определяются [8, 9] по формуле:

$$Q_{р.н.час} = Q_{п.р.н.час} + Q_{о.р.н.час} = \sum_1^i (q_{н.п.р.п.} L \beta K) + \sum_1^i (q_{н.о.р.п.} L \beta K), \quad (10)$$

где  $q_{н.п.р.п.}$ ,  $q_{н.о.р.п.}$  – удельные часовые тепловые потери подающего и обратного трубопроводов, ккал/ч·м;

$L$  – длина трубопровода, м;

$\beta$  – коэффициент местных тепловых потерь [7, 10], учитывающий потери запорной арматурой, компенсаторами, опорами (принимается равным 1,15);

$K$  – коэффициент, учитывающий фактическое состояние тепловых сетей [9, 10], он показывает отношение фактических удельных тепловых потерь через изоляцию трубопроводов тепловых сетей к нормируемым [8] (принимается равным 1,0).

В таблице 1 приведены удельные тепловые потери для разных вариантов, полученные в результате расчета (см. п. 1 и 2).

**Таблица 1. Удельные тепловые потери для разных вариантов теплоизоляции**

Трубопровод тепловой сети	$\Delta t_{т1}$ , °C	$\Delta t_{т2}$ , °C		Отопительный период			Межотопительный период		
				$\Delta t_{от.п.}$ , °C		$q_{п.н.}$ ккал/ч·м	$\Delta t_{межот.п.}$ , °C		$q_{п.н.}$ ккал/ч·м
		межот. пер.	отоп. пер.	обр. тр.	под. тр.		обр. тр.	под. тр.	
Подающий трубопровод с обычной ППУ изоляцией	60,5	70,5	90,5	62,4	93,4	77,5	51,4	62,4	42,3
Обратный трубопровод с обычной ППУ изоляцией	60,5	70,5	90,5	62,4	93,4	55,9	51,4	62,4	37,0
Подающий трубопровод с утолщенной ППУ изоляцией	60,5	70,5	90,5	62,4	93,4	52,1	51,4	62,4	28,5
Обратный трубопровод с утолщенной ППУ изоляцией	60,5	70,5	90,5	62,4	93,4	37,3	51,4	62,4	24,7

Результаты расчетов по формуле (10) сведены в таблицу 2.

**Таблица 2. Фактические значения часовых тепловых потерь для разных вариантов теплоизоляции**

Трубопровод тепловой сети	Наружный диаметр ст. тр., м	Длина трубопровода, м	Коеф. потерь местный В	Коеф. потерь изоляции К	Отопительный период		Межотопительный период	
					q <sub>п.н.</sub> , ккал/ч·м	Q <sub>п.н.</sub> , ккал/ч	q <sub>п.н.</sub> , ккал/ч·м	Q <sub>п.н.</sub> , ккал/ч
Подающий трубопровод с обычной ППУ изоляцией	0,63	24900	1,15	1,0	77,5	2219364	42,3	1212389
Обратный трубопровод с обычной ППУ изоляцией	0,72	12450	1,15	1,0	55,9	800485	37,0	529296
Подающий трубопровод с утолщенной ППУ изоляцией	0,63	24900	1,15	1,0	52,1	1491967	28,5	814791
Обратный трубопровод с утолщенной ППУ изоляцией	0,72	12450	1,15	1,0	37,3	534557	24,7	353429

Нормативные значения тепловых потерь за отопительный и межотопительный периоды функционирования теплотрассы определяются [9, 10] по формуле:

$$Q = Q_{н.час} \cdot T \cdot 10^{-6}, \text{ Гкал}, \quad (11)$$

где  $T$  – количество часов работы за рассматриваемые периоды.

Нормативные значения тепловых потерь за годовой период функционирования теплотрассы определяются по формуле:

$$Q_{год} = Q_{от.н} + Q_{межот.н}, \text{ Гкал}, \quad (12)$$

Снижение тепловых потерь в результате внедрения трубопроводов с усиленной теплоизоляцией определяется по формуле:

$$\Delta Q = Q_{годТун2} - Q_{годТун1}, \text{ Гкал}, \quad (13)$$

Годовая экономия тепла в денежном выражении определяется по формуле:

$$C = \Delta Q \cdot C_m, \text{ руб.}, \quad (14)$$

где  $C_m$  – удельная стоимость тепловой энергии (принимается на 2011 год равной 1067 руб./Гкал).

Результаты расчетов по формулам (11-14) сведены в таблицу 3.

**Таблица 3. Годовая экономия в результате утолщения теплоизоляции**

Тип прокладки тепловой сети, годовая экономия	Отопительный период			Межотопительный период			За год Q <sub>п.н.</sub> , Гкал
	T, ч	Q <sub>п.н.</sub> , ккал/ч	Q <sub>п.н.</sub> , Гкал	T, ч	Q <sub>п.н.</sub> , ккал/ч	Q <sub>п.н.</sub> , Гкал	
Надземная прокладка тепловых сетей с обычной ППУ изоляцией	6000	3019849	18119	2400	1741685	4180	22299
Надземная прокладка тепловых сетей с усиленной ППУ изоляцией	6000	2026524	12159	2400	1168220	2804	14963
Снижение тепловых потерь в результате увеличения толщины ППУ изоляции, в Гкал							7336
Годовая экономия в результате увеличения толщины ППУ изоляции (на 2011 г.), в тыс. руб.							7828

Таким образом, в результате применения стальных трубопроводов по ГОСТ 30732-2006 с утолщенной теплоизоляцией на тепломаршруте между Апатитской ТЭЦ и ЦТП г. Кировска произойдет снижение тепловых потерь на 33 %. При увеличении толщины теплоизоляции на 50 мм (с 85 мм до 135 мм) тепловые потери уменьшатся на 7,3 тыс. Гкал/год (в денежном выражении на 2011 год – 7,8 млн. рублей).

Срок окупаемости повышения энергоэффективности теплоизоляции трубопроводов тепловой сети (при утолщении ППУ изоляции) с учетом продолжающейся тенденции увеличения стоимости топлива в России составит в среднем 7-8 лет.

Внедрение энергосберегающих технологий на теплоэнергетическом рынке направлено на реализацию Федерального закона РФ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 № 261-ФЗ.

Следующим этапом повышения энергоэффективности ППУ изоляции является переход на систему компонентов ППУ, содержащих циклопентан (с коэффициент теплопроводности не более  $0,027 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$  при температуре  $50 \text{ °C}$ ), что соответствует европейским стандартам [14]. К сожалению, на сегодняшний день в России нет производств, где применяется циклопентановый вспениватель. Это связано с тем, что с одной стороны, в России использование «мягких» фреонов разрешено до 2030 года, а с другой – существующие водные системы отвечают всем требованиям российских стандартов [6].

## Литература

1. Налобин Н. В. Оптимизация толщины пенополиуретановой изоляции трубопроводов в системах теплоснабжения объектов на севере Западной Сибири : автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Нижний Новгород, 2007. 18 с.
2. Реконструкция Апатитской ТЭЦ и строительство тепломагистрали до г. Кировск с установкой ЦТП «Хибинская тепловая компания» : проект / ЗАО «Лонас Технологии». Санкт-Петербург, 2009.
3. Годовой отчет ОАО «Апатитыэнерго» за 2009 год. Утв. 30.06.2010. Апатиты, 2009.
4. Справочник по климату СССР, вып. 1-34. Л. : Гидрометеиздат, 1964-1971.
5. СНиП 23-01-99. Строительная климатология.
6. ГОСТ 30732-2006. Трубы и фасонные изделия стальные с тепловой изоляцией из пенополиуретана с защитной оболочкой. Технические условия.
7. СП 41-103-2000. Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов.
8. Приказ Министерства энергетики РФ «Об организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по утверждению нормативов технологических потерь при передаче тепловой энергии» от 30.12.2008 № 325.
9. МДК 4-05.2004. Методика определения потребности в топливе, электрической энергии и воде при производстве и передаче тепловой энергии и теплоносителей в системах коммунального теплоснабжения. Утв. Госстроем России 12.08.2003.
10. Слепченко В. С., Кузнецов Е. П., Зак М. Л., Быстров В. Д. Расчет потребности в ресурсах для производства и передачи тепловой энергии. СПб. : ФГОУ ДПО «ПЭИПК», 2010.
11. Копко В. М. Теплоизоляция трубопроводов теплосетей. Учебно-методическое пособие. Минск : «Технопринт», 2002. 160 с.
12. Слепченко В. С., Петраков Г.П. Система теплоснабжения Санкт-Петербурга на современном этапе и возможности ее модернизации //
13. Королев И. А., Петраков Г. П. Создание испытательного центра для проверки качества пенополиуретановой изоляции предизолированных трубопроводов, применяемых в системах теплоснабжения // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 1. С. 23-25.
14. DIN EN 253-2009. District heating pipes – Preinsulated bonded pipe systems for directly buried hot water networks – Pipe assembly of steel service pipe, polyurethane thermal insulation and outer casing of polyethylene.
15. DIN EN 448-2009. District heating pipes – Preinsulated bonded pipe systems for directly buried hot water networks – Fitting assemblies of steel service pipes, polyurethane thermal insulation and outer casing of polyethylene.

*\*Геннадий Петрович Петраков, Санкт-Петербург, Россия*

*Тел. раб.: +7(812)784-20-38; эл. почта: p@103trest.ru*

doi: 10.5862/MCE.22.4

## Increasing the energy efficiency of thermal insulation of heat network pipelines in Northern and Northeastern regions of Russia

V.S. Slepchenok,  
ZAO «RSU-103»;

G.P. Petrakov,  
gruppa kompaniy «Sto Tretiy Trest»,  
+7(812)784-20-38; el. pochta: p@103trest.ru

### Key words

heat networks; heat supply; pipelines in polyurethane foam insulation; energy saving; energy efficiency; heat losses

### Abstract

For cities of Northern and Northeastern regions of Russian Federation located in harsh climatic conditions it is necessary to modernize the heat networks intensively to ensure economic efficiency and reliability of heat supply. The heating pipes with polyurethane foam insulation have a considerable advantage in comparison with other types of thermal insulation constructions; this is showed by service experience of existing heating systems.

The article is about the analysis of the energy efficiency of increase the thickness of the insulating covering of heat pipes of the heat main line projected from the Apatity heat electropower station to the central heat station in the town Kirovsk of Murmansk region.

The heat losses will decrease on 33 % in case of the use of steel pipes GOST 30732-2006 with thickened polyurethane foam insulation (with the carbon dioxide blowing). The heat losses will decrease on 7,3 Gkal/y. (7,8 millions of rubles in monetary terms in 2011 year) with increasing thickness of the insulation on 50 mm (from 85 mm to 135 mm).

### References

1. Nalobin N. V. *Optimizatsiya tolshchiny penopoliuretanovoy izolyatsii teploprovodov v sistemakh teplosnabzheniya obektov na severe Zapadnoy Sibiri* [Optimization the thickness of polyurethane foam insulation in the heat supply systems in the north of West Siberia] : theses. Nizhniy Novgorod, 2007. 18 p. (rus)
2. *Rekonstruktsiya Apatitskoy TETS i stroitelstvo teplomagistrali do g. Kirovsk s ustanovkoy TSTP «Khibinskaya teplovaya kompaniya» : proekt* [The reconstruction of the Apatity heat electropower station and the construction of the heat main line to Kirovsk with the installation of the central heat supply station "Khibiny heating company" : a project] / ZAO «Lonas Tekhnologiya». Sankt-Peterburg, 2009. (rus)
3. *Godovoy otchet OAO «Apatityenergo» za 2009 god* [Annual report of "Apatityenergo", 2009]. Utv. 30.06.2010. Apatity, 2009. (rus)
4. *Spravochnik po klimatu SSSR* [Climatic manual of USSR], No. 1-34. L. : Gidrometeoizdat, 1964-1971. (rus)
5. *SNiP 23-01-99. Stroitel'naya klimatologiya* [Construction climatology]. Moscow, 1999. (rus)
6. *GOST 30732-2006. Truby i fasonnye izdeliya stalnye s teplovoy izolyatsiey iz penopoliuretana s zashchitnoy obolochkoy. Tekhnicheskie usloviya* [Pipes and molded steel items with thermal insulation made of foam polyurethane with the protective envelope. Technical requirements]. Moscow, 2006. (rus)
7. *SP 41-103-2000. Proektirovanie teplovoy izolyatsii oborudovaniya i truboprovodov* [Projecting the thermal insulation of the equipment and pipelines]. Moscow, 2000. (rus)
8. *Ob organizatsii v Ministerstve energetiki Rossiyskoy Federatsii raboty po utverzhdeniyu normativov tekhnologicheskikh poter pri peredache teplovoy energii: Prikaz Ministerstva energetiki RF* [Concerning the standards of the process loss under the heat power transmission : an order of Department of Energy of Russian Federation]. 30.12.2008. No. 325. (rus)
9. *MDK 4-05.2004. Metodika opredeleniya potrebnosti v toplive, elektricheskoy energii i vode pri proizvodstve i peredache teplovoy energii i teplonositeley v sistemakh kommunalnogo teplosnabzheniya* [The procedure for determination the fuel, power and water requirement under the production and transmission of heat power and heat-transfer agents at the public heat supply systems]. Utv. Gosstroem Rossii 12.08.2003. (rus)
10. Slepchenok V. S., Kuznetsov E. P., Zak M. L., Bystrov V. D. *Raschet potrebnosti v resursakh dlya proizvodstva i peredachi teplovoy energii* [The calculation of the resource requirement for production and transmission the heat power]. Saint-Petersburg : PEIPK, 2010. (rus)

Slepchenok V.S., Petrakov G.P. Increasing the energy efficiency of thermal insulation of heat network pipelines in Northern and Northeastern regions of Russia

11. Копко В. М. *Теплоизоляция трубопроводов теплосетей : Учебно-методическое пособие* [Heat insulation of the heating system pipelines : tutorial]. Minsk : Tekhnoprint, 2002. 160 p. (rus)
12. Slepchenok V. S., Petrakov G.P. *Magazine of Civil Engineering*. 2009. No. 7. Pp. 26-29. (rus)
13. Korolev I. A., Petrakov G. P. *Magazine of Civil Engineering*. 2010. No. 1. Pp. 23-25. (rus)
14. *DIN EN 253-2009. District heating pipes – Preinsulated bonded pipe systems for directly buried hot water networks – Pipe assembly of steel service pipe, polyurethane thermal insulation and outer casing of polyethylene.*
15. *DIN EN 448-2009. District heating pipes – Preinsulated bonded pipe systems for directly buried hot water networks – Fitting assemblies of steel service pipes, polyurethane thermal insulation and outer casing of polyethylene.*

**Full text of this article in Russian: pp. 26-32**