



## Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: [www.unistroy.spb.ru](http://www.unistroy.spb.ru)



# Экономическая эффективность замены старых теплопроводов в Санкт-Петербурге

Г.П. Петраков<sup>1</sup>, В.С. Слепченко<sup>2</sup>

ГК "103 Трест", 198096, Россия, Санкт-Петербург, ул. Зайцева, д. 4, кор. 2, лит. А.

### Информация о статье

УДК 697.343

### История

Подана в редакцию 10 февраля 2015

### Ключевые слова

тепловые сети,  
реконструкция,  
экономическая эффективность,

## АННОТАЦИЯ

Тепловые сети это наиболее уязвимый элемент городской системы теплоснабжения. Средний срок службы теплопроводов, которые прокладывались в Советском Союзе, не превышал 15 лет. В Санкт-Петербурге ежегодно в разряд сетей, выработавших паспортный ресурс (25 лет), переходит до 230 км теплопроводов в однотрубном исчислении. Замена старых тепловых сетей на теплопроводы в тепловой изоляции из пенополиуретана позволит значительно сократить потери тепловой энергии. В статье выполняется расчет экономической эффективности реконструкции тепловых сетей. В соответствии со Схемой теплоснабжения к 2030 году планируется реконструировать 163900 м теплопроводов (819500 м в двухтрубном исчислении) ветхих тепловых сетей, находящихся на балансе ОАО «Теплосеть Санкт-Петербурга».

## Содержание

|    |   |    |
|----|---|----|
| 1. | Введение  | 8  |
| 2. | Цель работы   | 9  |
| 3. | Исходные данные для расчета   | 9  |
| 4. | Определение удельных тепловых потерь через тепловую изоляцию трубопроводов тепловой сети при подземной бесканальной прокладке | 10 |
| 5. | Определение удельных тепловых потерь энергии для трубопроводов тепловой сети при подземной прокладке в непроходном канале     | 13 |
| 6. | Определение удельных тепловых потерь энергии для трубопроводов тепловой сети при наземной прокладке                           | 16 |
| 7. | Определение нормативных и фактических потерь тепловой энергии   | 18 |
| 8. | Применение ППУ с пониженной теплопроводностью   | 24 |
| 9. | Заключение  | 24 |

1

Контактный автор:

+7 (911) 208 9574, p@103trest.ru (Петраков Геннадий Петрович, советник генерального директора)

2

+7 (921) 355 6236, slepv@mail.ru (Слепченко Валерий Семенович, консультант)

## 1. Введение

Проблемы обеспечения тепловой энергией Санкт-Петербурга, в связи с достаточно суровыми климатическими условиями, по своей значимости могут сравниться с проблемами обеспечения населения продовольствием и представляют задачу большой государственной важности. Санкт-Петербург – самый большой мегаполис северных широт, имеющий одну из крупнейших в мире систем централизованного теплоснабжения.

В 2013 году общая протяженность магистральных и внутриквартальных теплопроводов Санкт-Петербурга с диаметрами 50-1400 мм составила 7700 км в однотрубном исчислении [1-3]. Из них 27 % теплопроводов эксплуатируются 25 лет и более, а 22 % имеют срок службы от 15 до 25 лет. Ежегодно в разряд сетей, выработавших паспортный ресурс (25 лет), переходит до 230 км теплопроводов в однотрубном исчислении. Ситуация близкая к критической также складывается и с городскими сетями водоснабжения и водоотведения [4].

Существующие схемы теплоснабжения города характеризуются высокой повреждаемостью, большими тепловыми потерями и, как следствие, недостаточной (ниже расчетной) экономичностью эксплуатации водяных тепловых сетей. Низкая надежность и экономичность тепловых сетей – следствие технической политики, проводимой в нашей стране на протяжении нескольких десятилетий. Существующие трубопроводы тепловых сетей быстро стареют, теряют свою герметичность.

Утечки в системах теплоснабжения приводят к изменению водного режима прилегающих территорий, ее подтоплению, а также к повышению коррозионной активности грунтов. Изменение гидрогеологического режима территории оказывает негативное воздействие на все здания и сооружения, построенные как на поверхности, так и под землей. По оценкам специалистов, значительное ухудшение санитарно-эпидемиологического состояния жилых помещений, особенно расположенных на первых этажах, связано с подтоплением территории в результате аварий трубопроводов.

Кроме непосредственного отрицательного влияния вследствие разлива воды, разгерметизация трубопроводов вызывает необходимость проведения ремонтно-строительных работ по их восстановлению. Подобные работы, выполняемые в городских условиях, иногда требуют перекрытия проезжей части дорог, либо закрытия одной или нескольких полос движения, что нарушает нормальный ритм функционирования транспортного хозяйства города. Это приводит к замедлению движения автомобилей, к увеличению выброса вредных веществ с выхлопными газами, а также к увеличению (в 3-10 раз) количества дорожно-транспортных происшествий.

Таким образом, теплотрассы это наиболее уязвимый элемент системы теплоснабжения. Они поглощают основные бюджетные средства, выделяемые на отопление. Средний срок службы теплопроводов, которые прокладывались в Советском Союзе, не превышал 15 лет. При консервативном сценарии реконструкции тепловых сетей, чтобы износ хотя бы не увеличивался, в Санкт-Петербурге необходимо ежегодно проводить замену не менее 300 км теплопроводов в однотрубном исчислении. В период 2010-2013 годов совместными усилиями основных теплоснабжающих организаций (ОАО «Теплосеть Санкт-Петербурга», ГУП «ТЭК СПб», ООО «Петербургтеплоэнерго») удавалось реконструировать в среднем до 330 км теплопроводов в год [1].

Стоимость перекладки достаточно высока: реконструкция 1 п. км трассы в двухтрубном исчислении, включающая проектные и строительно-монтажные работы, оценивается в диапазоне от 10 до 500 млн. рублей в зависимости от диаметра. Например, стоимость реконструкции 1 п. км трассы в двухтрубном исчислении диаметром 500 мм в 2013 году составила 210-230 млн. рублей [1].

Как уже говорилось выше, надежность и непрерывность теплоснабжения потребителей в Санкт-Петербурге не соответствует современным требованиям. В силу сложившейся ситуации широкое распространение получила практика аварийной замены отдельных участков тепловых сетей, когда работы выполняются на скорую руку, зачастую в неблагоприятных метеоусловиях и с нарушением технологии. При этом расходование средств на порядок больше стоимости плановых мероприятий по капитальному ремонту и замене теплопроводов.

Как показала практика, начиная с 80 годов XX столетия, при температуре наружного воздуха ниже 10-15 °С и повреждаемости тепловых сетей 1,5 отказа на 1 п. км теплопроводов (3 отказа в год на 1 п. км трассы) может возникнуть чрезвычайная ситуация регионального характера [5]. По данным

на 2009 год Филиала «Невский» ОАО «ТГК-1» повреждаемость составила 1,25 отказа на 1 п. км теплопроводов [30]. В период 2010-2013 годов ситуация стала изменяться в лучшую сторону – до 0,7 отказа на 1 п. км теплопроводов [1].

Таким образом, для обеспечения экономической эффективности и надежности теплоснабжения Санкт-Петербурга и его пригородов необходимо интенсивно проводить модернизацию системы теплоснабжения. Наиболее слабым звеном системы теплоснабжения являются теплопроводы. Опыт эксплуатации тепловых сетей показал, что по сравнению с другими конструкциями тепловой изоляции значительное преимущество имеют трубопроводы с пенополиуретановой (далее – ППУ) теплоизоляцией.

## 2. Цель работы

Данная работа направлена на определение экономической эффективности замены старых изношенных трубопроводов тепловых сетей, находившихся на балансе Филиала «Невский» ОАО «ТГК-1», на новые трубопроводы с ППУ теплоизоляцией, с учетом проведенных исследований тепломассопереноса при влагонасыщении тепловой изоляции, при ее деформации и при промерзании грунта [6-21], а также действующих нормативных методик расчета тепловых потерь [22, 23].

В 2009 году на балансе Предприятия «Тепловая сеть» (теплоснабжающее подразделение Филиала «Невский» ОАО «ТГК-1»), с 2010 года существует в виде дочернего зависимого общества – ОАО «Теплосеть Санкт-Петербурга») находилось 808,22 км теплопроводов в однострубно́м исчислении, к 2014 году протяженность тепловых сетей увеличилась до 2483 км теплопроводов в основном за счет присоединения сетей ГУП «ТЭК СПб» [1]. Общая длина физически изношенных теплопроводов (построенных до 1997 года) на балансе Филиала «Невский» ОАО «ТГК-1» в 2009 году составляла 259,76 км в двухтрубно́м исчислении [30]. Общая длина ветхих сетей (со сроком эксплуатации 25 лет и более) на балансе ОАО «Теплосеть Санкт-Петербурга» в 2014 году составляет 730 км в двухтрубно́м исчислении [1].

Филиал «Невский» ОАО «ТГК-1» осуществляет комбинированную выработку тепловой энергии от восьми ТЭЦ. Установленная тепловая мощность ТЭЦ составляет 11813 Гкал/ч, присоединенная нагрузка – 9740 Гкал/ч, объем полезного отпуска – 19853 тыс. Гкал/год, удельный расход условного топлива – 140 кг у.т./Гкал [1].

Присоединенная нагрузка ОАО «Теплосеть Санкт-Петербурга» – 9499,792 Гкал/ч, объем полезного отпуска – 19487,86 тыс. Гкал/год, протяженность магистральных тепловых сетей – 649,76 км, разводящих сетей – 1833,06 км [1].

## 3. Исходные данные для расчета

1. Источники теплоснабжения Филиала «Невский» ОАО «ТГК-1» работают по графику температур 150/70 °С, по схеме с открытым водоразбором. В соответствии со Схемой теплоснабжения Санкт-Петербурга до 2030 года [1, 2] горячее водоснабжение должно быть полностью переведено на схему с зарытым водоразбором.
2. Средняя температура наружного воздуха за отопительный период  $t_{н.в.от.п.} = -1,8$  °С [24, 25].
3. Средняя температура наружного воздуха за межотопительный период  $t_{н.в.межот.п.} = 14$  °С [24, 25].
4. Средняя расчетная температура наружного воздуха  $t_{н.в.} = 5$  °С [22].
5. Средняя температура грунта за отопительный период  $t_{гр.от.п.} = 0,7$  °С [24].
6. Средняя температура грунта за межотопительный период  $t_{гр.межот.п.} = 13,7$  °С [25].
7. Средняя расчетная температура грунта  $t_{гр.} = 5$  °С [22].
8. Средняя температура теплоносителя за отопительный период в подающем трубопроводе

$$t_{п.ом.п.} = 79 \text{ }^\circ\text{C} [30].$$

9. Средняя температура теплоносителя за отопительный период в обратном трубопроводе

$$t_{о.ом.п.} = 42 \text{ }^\circ\text{C} [30].$$

10. Средняя температура теплоносителя за межотопительный период на нужды горячего водоснабжения (далее – ГВС) в подающем трубопроводе

$$t_{п.межот.п.} = 65 \text{ }^\circ\text{C} [26, 30].$$

11. Средняя температура теплоносителя за межотопительный период на нужды горячего водоснабжения в обратном трубопроводе

$$t_{о.межот.п.} = 55 \text{ }^\circ\text{C} [27, 30].$$

12. Продолжительность отопительного периода

$$T_{от.п.} = 5280 \text{ ч (220 сут.)} [25, 30].$$

13. Продолжительность межотопительного периода

$$T_{межот.п.} = 3120 \text{ ч (130 сут.)} [25, 30].$$

14. Сведения о теплопроводах тепловой сети (диаметры, длины и сроки проектирования труб) представлены в приложении 1 [30] и в приложении 1 к настоящей статье.

15. Плотность ППУ изоляции –  $60 \text{ кг/м}^3$ , коэффициент теплопроводности при средней температуре  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  –  $0,033 \text{ Вт/(м}\cdot\text{ }^\circ\text{C)}$  [31].

Цель – рассмотреть существующие виды светопрозрачных конструкций, в том числе современные энергоэффективные, указать особенности их конструкции и эксплуатации. Выбрать наиболее перспективный вариант энергосберегающего стеклопакета. Сделать расчет трансмиссионных потерь с двумя стандартными стеклопакетами с различным межстекольным расстоянием и выбранным энергоэффективным. Сравнить полученные показатели тепловых потерь. Сопоставить экономические затраты на отопление с тремя светопрозрачными конструкциями. Сделать выводы о повышении энергоэффективности ограждающих конструкций.

#### 4. Определение удельных тепловых потерь через тепловую изоляцию трубопроводов тепловой сети при подземной бесканальной прокладке

*Подземная бесканальная прокладка тепловых сетей, введенная в эксплуатацию до 1997 года*

1. Эквивалентный диаметр трубопроводов тепловой сети –  $500 \text{ мм}$  (см. приложение 1 к настоящей статье).

Отопительный период

2. Средние разности температуры теплоносителя и температуры грунта определяются по формулам:

$$\Delta t_{ом.п.} = \frac{t_{н.ом.п.} + t_{о.ом.п.}}{2} - t_{гр.ом.п.} = \frac{79 + 42}{2} - 0,7 = 59,8 \text{ }^\circ\text{C},$$

$$\Delta t_{t_1} = \frac{t_{н.t_1} + t_{о.t_1}}{2} - t_{гр} = \frac{65 + 50}{2} - 5 = 52,5 \text{ }^\circ\text{C},$$

$$\Delta t_{t_2} = \frac{t_{н.t_2} + t_{о.t_2}}{2} - t_{гр} = \frac{90 + 50}{2} - 5 = 65 \text{ }^\circ\text{C},$$

где  $t_{н.ом.п.} = 79 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $t_{о.ом.п.} = 42 \text{ }^\circ\text{C}$  – средние значения температуры в подающем и обратном трубопроводах (исходные данные);

$t_{гр.ом.п.} = 0,7 \text{ }^\circ\text{C}$  – средняя температура грунта (исходные данные);

$t_{n.t_1} = 65 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $t_{o.t_1} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$  – меньшая табличная пара табличных значений температур в подающем и обратном трубопроводе;

$t_{n.t_2} = 90 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $t_{o.t_2} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$  – большая табличная пара табличных значений температур в подающем и обратном трубопроводе;

$t_{гр.} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$  – расчетное значение температуры грунта.

3. Средние суммарные удельные тепловые потери по подающему и обратному трубопроводам определяются по формуле (см. п. 8.6.3 [22]):

$$q_{п.н} = (q_{п.н.t_1} + q_{o.н.t_1}) + [(q_{п.н.t_2} + q_{o.н.t_2}) - (q_{п.н.t_1} + q_{o.н.t_1})] \frac{\Delta t_{ом.н.} - \Delta t_{t_1}}{\Delta t_{t_2} - \Delta t_{t_1}} =$$

$$= (90 + 67) + [(119 + 62) - (90 + 67)] \frac{59,8 - 52,5}{65 - 52,5} = 171 \text{ ккал/ч}\cdot\text{м},$$

где  $q_{п.н.t_1} = 90 \text{ ккал/ч}\cdot\text{м}$  и  $q_{o.н.t_1} = 67 \text{ ккал/ч}\cdot\text{м}$  – нормы плотности для подающего и обратного трубопроводов со средней температурой теплоносителя  $65/50 \text{ }^\circ\text{C}$  (см. таблицу 2 приложения 5.2 [22]);

$q_{п.н.t_2} = 119 \text{ ккал/ч}\cdot\text{м}$  и  $q_{o.н.t_2} = 62 \text{ ккал/ч}\cdot\text{м}$  – нормы плотности для подающего и обратного трубопроводов со средней температурой теплоносителя  $90/50 \text{ }^\circ\text{C}$  (см. таблицу 2 приложения 5.2 [22]).

#### Межотопительный период

4. Средние разности температуры теплоносителя и температуры грунта определяются по формулам:

$$\Delta t_{межот.п.} = \frac{t_{п.межот.п.} + t_{o.межот.п.}}{2} - t_{гр.межот.п.} = \frac{65 + 55}{2} - 13,7 = 46,3 \text{ }^\circ\text{C},$$

где  $t_{п.межот.п.} = 65 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $t_{o.межот.п.} = 55 \text{ }^\circ\text{C}$  – средние значения температуры в подающем и обратном трубопроводах (исходные данные);

$t_{гр.межот.п.} = 13,7 \text{ }^\circ\text{C}$  – средняя температура грунта (исходные данные).

5. Средние суммарные удельные тепловые потери по подающему и обратному трубопроводам определяются по формуле:

$$q_{п.н} = (q_{п.н.t_1} + q_{o.н.t_1}) + [(q_{п.н.t_2} + q_{o.н.t_2}) - (q_{п.н.t_1} + q_{o.н.t_1})] \frac{\Delta t_{межот.п.} - \Delta t_{t_1}}{\Delta t_{t_2} - \Delta t_{t_1}} =$$

$$= (90 + 67) + [(119 + 62) - (90 + 67)] \frac{46,3 - 52,5}{65 - 52,5} = 145,1 \text{ ккал/ч}\cdot\text{м}.$$

#### **Подземная бесканальная прокладка тепловых сетей с ППУ теплоизоляцией**

1. Эквивалентный диаметр трубопроводов тепловой сети –  $500 \text{ мм}$  (см. приложение 1 к настоящей статье).

Отопительный период

2. Средние разности температуры теплоносителя и температуры грунта определяются по формулам:

$$\Delta t_{om.n.} = \frac{t_{n.om.n.} + t_{o.om.n.}}{2} - t_{zp.om.n.} = \frac{79 + 42}{2} - 0,7 = 59,8 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$\Delta t_{t_1} = \frac{t_{n.t_1} + t_{o.t_1}}{2} - t_{zp} = \frac{65 + 50}{2} - 5 = 52,5 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$\Delta t_{t_2} = \frac{t_{n.t_2} + t_{o.t_2}}{2} - t_{zp} = \frac{90 + 50}{2} - 5 = 65 \text{ } ^\circ\text{C},$$

где  $t_{n.om.n.} = 79 \text{ } ^\circ\text{C}$  и  $t_{o.om.n.} = 42 \text{ } ^\circ\text{C}$  – средние значения температуры в подающем и обратном трубопроводах (исходные данные);

$t_{zp.om.n.} = 0,7 \text{ } ^\circ\text{C}$  – средняя температура грунта (исходные данные);

$t_{n.t_1} = 65 \text{ } ^\circ\text{C}$  и  $t_{o.t_1} = 50 \text{ } ^\circ\text{C}$  – меньшая табличная пара табличных значений температур в подающем и обратном трубопроводе;

$t_{n.t_2} = 90 \text{ } ^\circ\text{C}$  и  $t_{o.t_2} = 50 \text{ } ^\circ\text{C}$  – большая табличная пара табличных значений температур в подающем и обратном трубопроводе;

$t_{zp} = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$  – расчетное значение температуры грунта.

3. Средние суммарные удельные тепловые потери по подающему и обратному трубопроводам определяются по формуле:

$$q_{n.n} = (q_{n.n.t_1} + q_{o.n.t_1}) + [(q_{n.n.t_2} + q_{o.n.t_2}) - (q_{n.n.t_1} + q_{o.n.t_1})] \frac{\Delta t_{om.n} - \Delta t_{t_1}}{\Delta t_{t_2} - \Delta t_{t_1}} =$$

$$= (28,8 + 19,2) + [(43,9 + 17,2) - (28,8 + 19,2)] \frac{59,8 - 52,5}{65 - 52,5} = 55,7 \text{ ккал/ч}\cdot\text{м},$$

где  $q_{n.n.t_1} = 28,8 \text{ ккал/ч}\cdot\text{м}$  и  $q_{o.n.t_1} = 19,2 \text{ ккал/ч}\cdot\text{м}$  – нормы плотности для подающего и обратного трубопроводов со средней температурой теплоносителя  $65/50 \text{ } ^\circ\text{C}$  (см. приложения 2 к настоящей статье);

$q_{n.n.t_2} = 43,9 \text{ ккал/ч}\cdot\text{м}$  и  $q_{o.n.t_2} = 17,2 \text{ ккал/ч}\cdot\text{м}$  – нормы плотности для подающего и обратного трубопроводов со средней температурой теплоносителя  $90/50 \text{ } ^\circ\text{C}$  (см. приложение 2 к настоящей статье).

Межотопительный период

4. Средние разности температуры теплоносителя и температуры грунта определяются по формулам:

$$\Delta t_{meжот.n.} = \frac{t_{n.meжот.n.} + t_{o.meжот.n.}}{2} - t_{zp.meжот.n.} = \frac{65 + 55}{2} - 13,7 = 46,3 \text{ } ^\circ\text{C},$$

где  $t_{n.meжот.n.} = 65 \text{ } ^\circ\text{C}$  и  $t_{o.meжот.n.} = 55 \text{ } ^\circ\text{C}$  – средние значения температуры в подающем и обратном трубопроводах (исходные данные);

$t_{zp.meжот.n.} = 13,7 \text{ } ^\circ\text{C}$  – средняя температура грунта (исходные данные).

5. Средние суммарные удельные тепловые потери по подающему и обратному трубопроводам определяются по формуле:

$$q_{n.n} = (q_{n.n.t_1} + q_{o.n.t_1}) + [(q_{n.n.t_2} + q_{o.n.t_2}) - (q_{n.n.t_1} + q_{o.n.t_1})] \frac{\Delta t_{\text{межот.н}} - \Delta t_{t_1}}{\Delta t_{t_2} - \Delta t_{t_1}} =$$

$$= (28,8 + 19,2) + [(43,9 + 17,2) - (28,8 + 19,2)] \frac{46,3 - 52,5}{65 - 52,5} = 41,5 \text{ ккал/ч}\cdot\text{м.}$$

### 5. Определение удельных тепловых потерь энергии для трубопроводов тепловой сети при подземной прокладке в непроходном канале

**Подземная бесканальная прокладка тепловых сетей, введенная в эксплуатацию до 1997 года**

1. Эквивалентный диаметр трубопроводов тепловой сети – 400 мм (см. приложение 1 к настоящей статье).

Отопительный период

2. Средние разности температуры теплоносителя и температуры грунта определяются по формулам:

$$\Delta t_{\text{меот.н}} = \frac{t_{n.om.n} + t_{o.om.n}}{2} - t_{zp.om.n} = \frac{79 + 42}{2} - 0,7 = 59,8 \text{ }^\circ\text{C,}$$

$$\Delta t_{t_1} = \frac{t_{n.t_1} + t_{o.t_1}}{2} - t_{zp} = \frac{65 + 50}{2} - 5 = 52,5 \text{ }^\circ\text{C,}$$

$$\Delta t_{t_2} = \frac{t_{n.t_2} + t_{o.t_2}}{2} - t_{zp} = \frac{90 + 50}{2} - 5 = 65 \text{ }^\circ\text{C,}$$

где  $t_{n.om.n} = 79 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $t_{o.om.n} = 42 \text{ }^\circ\text{C}$  – средние значения температуры в подающем и обратном трубопроводах (исходные данные);

$t_{zp.om.n} = 0,7 \text{ }^\circ\text{C}$  – средняя температура грунта (исходные данные);

$t_{n.t_1} = 65 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $t_{o.t_1} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$  – меньшая табличная пара табличных значений температур в подающем и обратном трубопроводе;

$t_{n.t_2} = 90 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $t_{o.t_2} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$  – большая табличная пара табличных значений температур в подающем и обратном трубопроводе;

$t_{zp} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$  – расчетное значение температуры грунта.

3. Средние суммарные удельные тепловые потери по подающему и обратному трубопроводам определяются по формуле:

$$q_{n.n} = (q_{n.n.t_1} + q_{o.n.t_1}) + [(q_{n.n.t_2} + q_{o.n.t_2}) - (q_{n.n.t_1} + q_{o.n.t_1})] \frac{\Delta t_{om.n} - \Delta t_{t_1}}{\Delta t_{t_2} - \Delta t_{t_1}} =$$

$$= (50 + 33) + [(71 + 28) - (50 + 33)] \frac{59,8 - 52,5}{65 - 52,5} = 92,3 \text{ ккал/ч}\cdot\text{м,}$$

где  $q_{n.n.t_1} = 50$  ккал/ч·м и  $q_{o.n.t_1} = 33$  ккал/ч·м – нормы плотности для подающего и обратного трубопроводов со средней температурой теплоносителя 65/50 °С (см. таблицу 1 приложения 5.2 [22]);

$q_{n.n.t_2} = 71$  ккал/ч·м и  $q_{o.n.t_2} = 28$  ккал/ч·м – нормы плотности для подающего и обратного трубопроводов со средней температурой теплоносителя 90/50 °С (см. таблицу 1 приложения 5.2 [22]).

#### Межотопительный период

4. Средние разности температуры теплоносителя и температуры грунта определяются по формулам:

$$\Delta t_{\text{межот.п.}} = \frac{t_{n.\text{межот.п.}} + t_{o.\text{межот.п.}}}{2} - t_{\text{гр.межот.п.}} = \frac{65 + 55}{2} - 13,7 = 46,3 \text{ } ^\circ\text{C},$$

где  $t_{n.\text{межот.п.}} = 65$  °С и  $t_{o.\text{межот.п.}} = 55$  °С – средние значения температуры в подающем и обратном трубопроводах (исходные данные);

$t_{\text{гр.межот.п.}} = 13,7$  °С – средняя температура грунта (исходные данные).

5. Средние суммарные удельные тепловые потери по подающему и обратному трубопроводам определяются по формуле:

$$q_{n.n} = (q_{n.n.t_1} + q_{o.n.t_1}) + [(q_{n.n.t_2} + q_{o.n.t_2}) - (q_{n.n.t_1} + q_{o.n.t_1})] \frac{\Delta t_{\text{межот.п.}} - \Delta t_{t_1}}{\Delta t_{t_2} - \Delta t_{t_1}} =$$

$$= (50 + 33) + [(71 + 28) - (50 + 33)] \frac{46,3 - 52,5}{65 - 52,5} = 75,1 \text{ ккал/ч}\cdot\text{м}.$$

#### **Для подземной прокладки в непроходных каналах тепловых сетей с ППУ теплоизоляцией**

1. Эквивалентный диаметр трубопроводов тепловой сети – 400 мм (см. приложение 1 к настоящей статье).

#### Отопительный период

2. Средние разности температуры теплоносителя и температуры грунта определяются по формулам:

$$\Delta t_{\text{от.п.}} = \frac{t_{n.\text{от.п.}} + t_{o.\text{от.п.}}}{2} - t_{\text{гр.от.п.}} = \frac{79 + 42}{2} - 0,7 = 59,8 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$\Delta t_{t_1} = \frac{t_{n.t_1} + t_{o.t_1}}{2} - t_{\text{гр}} = \frac{65 + 50}{2} - 5 = 52,5 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$\Delta t_{t_2} = \frac{t_{n.t_2} + t_{o.t_2}}{2} - t_{\text{гр}} = \frac{90 + 50}{2} - 5 = 65 \text{ } ^\circ\text{C},$$

где  $t_{n.\text{от.п.}} = 79$  °С и  $t_{o.\text{от.п.}} = 42$  °С – средние значения температуры в подающем и обратном трубопроводах (исходные данные);

$t_{\text{гр.от.п.}} = 0,7$  °С – средняя температура грунта (исходные данные);

$t_{n.t_1} = 65$  °С и  $t_{o.t_1} = 50$  °С – меньшая табличная пара табличных значений температур в подающем и обратном трубопроводе;

$t_{n.t_2} = 90 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $t_{o.t_2} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$  – большая табличная пара табличных значений температур в подающем и обратном трубопроводе;

$t_{гр.} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$  – расчетное значение температуры грунта.

3. Средние суммарные удельные тепловые потери по подающему и обратному трубопроводам определяются по формуле:

$$q_{п.н} = (q_{п.н.t_1} + q_{o.н.t_1}) + [(q_{п.н.t_2} + q_{o.н.t_2}) - (q_{п.н.t_1} + q_{o.н.t_1})] \frac{\Delta t_{om.n} - \Delta t_{t_1}}{\Delta t_{t_2} - \Delta t_{t_1}} =$$

$$= (28,7 + 17,4) + [(45,7 + 14,2) - (28,7 + 17,4)] \frac{59,8 - 52,5}{65 - 52,5} = 54,5 \text{ ккал/ч}\cdot\text{м},$$

где  $q_{п.н.t_1} = 28,7 \text{ ккал/ч}\cdot\text{м}$  и  $q_{o.н.t_1} = 17,4 \text{ ккал/ч}\cdot\text{м}$  – нормы плотности для подающего и обратного трубопроводов со средней температурой теплоносителя  $65/50 \text{ }^\circ\text{C}$  (см. приложения 3);

$q_{п.н.t_2} = 45,7 \text{ ккал/ч}\cdot\text{м}$  и  $q_{o.н.t_2} = 14,2 \text{ ккал/ч}\cdot\text{м}$  – нормы плотности для подающего и обратного трубопроводов со средней температурой теплоносителя  $90/50 \text{ }^\circ\text{C}$  (см. приложение 3 к настоящей статье).

#### Межотопительный период

4. Средние разности температуры теплоносителя и температуры грунта определяются по формулам:

$$\Delta t_{\text{межот.п.}} = \frac{t_{п.\text{межот.п.}} + t_{o.\text{межот.п.}}}{2} - t_{гр.\text{межот.п.}} = \frac{65 + 55}{2} - 13,7 = 46,3 \text{ }^\circ\text{C},$$

где  $t_{п.\text{межот.п.}} = 65 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $t_{o.\text{межот.п.}} = 55 \text{ }^\circ\text{C}$  – средние значения температуры в подающем и обратном трубопроводах (исходные данные);

$t_{гр.\text{межот.п.}} = 13,7 \text{ }^\circ\text{C}$  – средняя температура грунта (исходные данные).

5. Средние суммарные удельные тепловые потери по подающему и обратному трубопроводам определяются по формуле:

$$q_{п.н} = (q_{п.н.t_1} + q_{o.н.t_1}) + [(q_{п.н.t_2} + q_{o.н.t_2}) - (q_{п.н.t_1} + q_{o.н.t_1})] \frac{\Delta t_{\text{межот.п.}} - \Delta t_{t_1}}{\Delta t_{t_2} - \Delta t_{t_1}} =$$

$$= (28,7 + 17,4) + [(45,7 + 14,2) - (28,7 + 17,4)] \frac{46,3 - 52,5}{65 - 52,5} = 39,3 \text{ ккал/ч}\cdot\text{м}.$$

## **6. Определение удельных тепловых потерь энергии для трубопроводов тепловой сети при надземной прокладке** **Подземная бесканальная прокладка тепловых сетей, введенная в эксплуатацию до 1997 года**

1. Эквивалентный диаметр трубопроводов тепловой сети –  $900 \text{ мм}$  (см. приложение 1 к настоящей статье).

Отопительный период

2. Средние суммарные удельные тепловые потери по подающему и обратному трубопроводам определяются по формулам:

$$\begin{aligned}
 q_{н.н.} &= \left[ q_{н.т_1} + (q_{н.т_2} - q_{н.т_1}) \frac{(t_{н.ом.п.} - t_{н.в.ом.п.}) - (t_1 - t_{н.в.})}{(t_2 - t_{н.в.}) - (t_1 - t_{н.в.})} \right] + \\
 &+ \left[ q_{н.т_1} + (q_{н.т_2} - q_{н.т_1}) \frac{(t_{о.ом.п.} - t_{н.в.ом.п.}) - (t_1 - t_{н.в.})}{(t_2 - t_{н.в.}) - (t_1 - t_{н.в.})} \right] = \\
 &= \left[ 97,16 + (146,0 - 97,16) \frac{(79 + 1,8) - (50 - 5)}{(90 - 5) - (50 - 5)} \right] + \\
 &+ \left[ 97,16 + (146,0 - 97,16) \frac{(42 + 1,8) - (50 - 5)}{(90 - 5) - (50 - 5)} \right] = 236,6 \text{ ккал/ч}\cdot\text{м},
 \end{aligned}$$

где  $q_{н.т_1} = 97,16 \text{ ккал/ч}\cdot\text{м}$  – меньшая табличная норма плотности теплового потока через изолирующую поверхность подающего трубопровода при средней температуре горячей воды  $t_1 = 50 \text{ }^\circ\text{C}$  (см. таблицу 3 приложения 5.2 [22],  $\text{Вт/м}$  переведены в  $\text{ккал/ч}\cdot\text{м}$ );

$q_{н.т_2} = 146,00 \text{ ккал/ч}\cdot\text{м}$  – большая табличная норма плотности теплового потока через изолирующую поверхность подающего трубопровода при средней температуре горячей воды  $t_2 = 90 \text{ }^\circ\text{C}$  (см. таблицу 3 приложения 5.2 [22],  $\text{Вт/м}$  переведены в  $\text{ккал/ч}\cdot\text{м}$ );

$t_{н.ом.п.} = 79 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $t_{о.ом.п.} = 42 \text{ }^\circ\text{C}$  – средние значения температуры в подающем и обратном трубопроводах (исходные данные);

$t_{н.в.ом.п.} = -1,8 \text{ }^\circ\text{C}$  – средняя температура наружного воздуха (см. исходные данные);

$t_{н.в.} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$  – табличная температура наружного воздуха.

Межотопительный период

3. Средние суммарные удельные тепловые потери по подающему и обратному трубопроводам определяются по формулам:

$$\begin{aligned}
 q_{н.н.} &= \left[ q_{н.т_1} + (q_{н.т_2} - q_{н.т_1}) \frac{(t_{п.межот.п.} - t_{н.в.межот.п.}) - (t_1 - t_{н.в.})}{(t_2 - t_{н.в.}) - (t_1 - t_{н.в.})} \right] + \\
 &+ \left[ q_{н.т_1} + (q_{н.т_2} - q_{н.т_1}) \frac{(t_{о.межот.п.} - t_{н.в.межот.п.}) - (t_1 - t_{н.в.})}{(t_2 - t_{н.в.}) - (t_1 - t_{н.в.})} \right] = \\
 &= \left[ 97,16 + (115,48 - 97,16) \frac{(65 - 14) - (50 - 5)}{(65 - 5) - (50 - 5)} \right] + \\
 &+ \left[ 97,16 + (115,48 - 97,16) \frac{(55 - 14) - (50 - 5)}{(65 - 5) - (50 - 5)} \right] = 196,8 \text{ ккал/ч}\cdot\text{м},
 \end{aligned}$$

где  $q_{н.т_1} = 97,16$  ккал/ч·м – меньшая табличная норма плотности теплового потока через изолирующую поверхность подающего трубопровода при средней температуре горячей воды  $t_1 = 50$  °С (см. таблицу 3 приложения 5.2 [22], Вт/м переведены в ккал/ч·м);

$q_{н.т_2} = 115,48$  ккал/ч·м – большая табличная норма плотности теплового потока через изолирующую поверхность подающего трубопровода при средней температуре горячей воды  $t_2 = 65$  °С (см. таблицу 3 приложения 5.2 [22], Вт/м переведены в ккал/ч·м);

$t_{н.межот.п.} = 65$  °С и  $t_{о.межот.п.} = 55$  °С – средние значения температуры в подающем и обратном трубопроводах (исходные данные);

$t_{н.в.межот.п.} = 14$  °С – средняя температура наружного воздуха (см. исходные данные);

$t_{н.в.} = 5$  °С – табличная температура наружного воздуха.

#### Для надземной прокладки тепловых сетей с ППУ теплоизоляцией

1. Эквивалентный диаметр трубопроводов тепловой сети – 900 мм (см. приложение 1 к настоящей статье).

#### Отопительный период

2. Средние суммарные удельные тепловые потери по подающему и обратному трубопроводам определяются по формулам:

$$\begin{aligned}
 q_{н.н.} &= \left[ q_{н.т_1} + (q_{н.т_2} - q_{н.т_1}) \frac{(t_{н.ом.п.} - t_{н.в.ом.п.}) - (t_1 - t_{н.в.})}{(t_2 - t_{н.в.}) - (t_1 - t_{н.в.})} \right] + \\
 &+ \left[ q_{н.т_1} + (q_{н.т_2} - q_{н.т_1}) \frac{(t_{о.ом.п.} - t_{н.в.ом.п.}) - (t_1 - t_{н.в.})}{(t_2 - t_{н.в.}) - (t_1 - t_{н.в.})} \right] = \\
 &= \left[ 52,6 + (108,2 - 52,6) \frac{(79 + 1,8) - (50 - 5)}{(90 - 5) - (50 - 5)} \right] + \\
 &+ \left[ 52,6 + (108,2 - 52,6) \frac{(42 + 1,8) - (50 - 5)}{(90 - 5) - (50 - 5)} \right] = 153,3 \text{ ккал/ч·м},
 \end{aligned}$$

где  $q_{н.т_1} = 52,6$  ккал/ч·м – норма плотности для обратного трубопровода со средней температурой теплоносителя 50 °С (см. приложение 4 к настоящей статье);

$q_{н.т_2} = 108,2$  ккал/ч·м – норма плотности для подающего трубопровода со средней температурой теплоносителя 90 °С (см. приложение 4 к настоящей статье);

$t_{н.ом.п.} = 79$  °С и  $t_{о.ом.п.} = 42$  °С – средние значения температуры в подающем и обратном трубопроводах (исходные данные);

$t_{н.в.ом.п.} = -1,8$  °С – средняя температура наружного воздуха (см. исходные данные);

$t_{н.в.} = 5$  °С – расчетное значение температуры наружного воздуха.

*Межотопительный период*

3. Средние суммарные удельные тепловые потери по подающему и обратному трубопроводам определяются по формулам:

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

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

$$= \left[ 52,6 + (72,5 - 52,6) \frac{(65 - 14) - (50 - 5)}{(65 - 5) - (50 - 5)} \right] +$$

$$+ \left[ 52,6 + (72,5 - 52,6) \frac{(55 - 14) - (50 - 5)}{(65 - 5) - (50 - 5)} \right] = 107,9 \text{ ккал/ч}\cdot\text{м},$$

где  $q_{н.т_1} = 52,6 \text{ ккал/ч}\cdot\text{м}$  – норма плотности для обратного трубопровода со средней температурой теплоносителя  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  (см. приложение 4 к настоящей статье);

$q_{н.т_2} = 72,5 \text{ ккал/ч}\cdot\text{м}$  – норма плотности для подающего трубопровода со средней температурой теплоносителя  $65 \text{ }^\circ\text{C}$  (см. приложение 4 к настоящей статье);

$t_{п.межот.п.} = 65 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $t_{о.межот.п.} = 55 \text{ }^\circ\text{C}$  – средние значения температуры в подающем и обратном трубопроводах (исходные данные);

$t_{н.в.межот.п.} = 14 \text{ }^\circ\text{C}$  – средняя температура наружного воздуха (см. исходные данные);

$t_{н.в.} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$  – расчетное значение температуры наружного воздуха.

## 7. Определение нормативных и фактических потерь тепловой энергии

В таблице 1 приведены удельные тепловые потери для разных вариантов прокладки, полученные в результате расчета.

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

| Тип прокладки тепловых сетей  | $t_{т1}$ ,<br>$^\circ\text{C}$ | $\Delta t_{т2}$ ,<br>$^\circ\text{C}$ | Отоп. период                          |            |                          | Межотоп. период                          |            |                          |
|---|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------|--------------------------|--|------------|--------------------------|
|   |                                |                                       | $\Delta t_{от.п.}$ , $^\circ\text{C}$ |            | $q_{п.н.}$ ,<br>ккал/ч·м | $\Delta t_{межот.п.}$ , $^\circ\text{C}$ |            | $q_{п.н.}$ ,<br>ккал/ч·м |
|   |                                |                                       | бр.<br>тр.                            | од.<br>тр. |                          | бр.<br>тр.                               | од.<br>тр. |                          |
| Подземная бесканальная прокладка тепловых сетей, введенных в эксплуатацию до 1997 г.          | 2,5                            | 65,0                                  | 59,8                                  |            | 171,0                    | 46,3                                     |            | 145,1                    |
| Подземная бесканальная прокладка тепловых сетей с ППУ теплоизоляции                           | 2,5                            | 65,0                                  | 59,8                                  |            | 55,7                     | 46,3                                     |            | 41,5                     |
| Подземная прокладка в непроходных каналах тепловых сетей, введенных в эксплуатацию до 1997 г. | 2,5                            | 65,0                                  | 59,8                                  |            | 92,3                     | 46,3                                     |            | 75,1                     |

| Тип прокладки тепловых сетей  | $t_{t1}$ , °C | $\Delta t_{t2}$ , °C |      | Отоп. период            |         |                        | Межотоп. период            |         |                        |      |      |       |
|---|---------------|----------------------|------|-------------------------|---------|------------------------|----------------------------|---------|------------------------|------|------|-------|
|   |               |                      |      | $\Delta t_{от.п.}$ , °C |         | $q_{п.н.}$<br>ккал/ч·м | $\Delta t_{межот.п.}$ , °C |         | $q_{п.н.}$<br>ккал/ч·м |      |      |       |
|   |               |                      |      | бр. тр.                 | од. тр. |                        | бр. тр.                    | од. тр. |                        |      |      |       |
| Подземная прокладка в непроходных каналах тепловых сетей с ППУ теплоизоляцией | 2,5           |                      | 65,0 |                         |         | 59,8                   |                            |         | 54,2                   | 46,3 | 39,3 |       |
| Надземная прокладка тепловых сетей, введенных в эксплуатацию до 1997 г.       | 5,0           | 0,0                  | 5,0  | 3,8                     | 0,8     |                        |                            |         | 236,6                  | 1,0  | 1,0  | 196,8 |
| Надземная прокладка тепловых сетей с ППУ теплоизоляцией                       | 5,0           | 0,0                  | 5,0  | 3,8                     | 0,8     |                        |                            |         | 153,3                  | 1,0  | 1,0  | 107,9 |

Нормативные значения часовых тепловых потерь для средних условий функционирования теплопроводов определяются по формуле [22, 23, 28]:

$$Q_{н.час} = \sum_1^i (q_{н.} L \beta K), \text{ ккал/ч.}$$

Средние часовые потери тепла за расчетный период определяются для каждого участка по формулам:

- для подземных трубопроводов определяется суммарно

$$Q_{р.н.час} = \sum_1^i (q_{н.р.н.} L \beta K), \text{ ккал/ч,}$$

- для надземных отдельно:

$$Q_{р.н.час} = Q_{н.р.н.час} + Q_{о.р.н.час} = \sum_1^i (q_{н.н.р.н.} L \beta K) + \sum_1^i (q_{н.о.р.н.} L \beta K), \text{ ккал/ч,}$$

где  $q_{н.р.н.}$ ,  $q_{н.п.р.п.}$ ,  $q_{н.о.р.п.}$  – удельные часовые тепловые потери подающих и обратных трубопроводов подземной прокладки – вместе, надземной – отдельно, ккал/ч·м;

$L$  – длина трубопроводов тепловой сети (для подземной прокладки в двухтрубном исчислении), м;

$\beta$  – коэффициент местных тепловых потерь [22, 28], учитывающий потери запорной арматурой, компенсаторами, опорами (принимается равным 1,2 для прокладки в каналах при диаметре трубопроводов до 150 мм, 1,15 – при диаметре 150 мм и более, а также при всех диаметрах трубопроводов бесканальной прокладки; при надземной прокладке);

$i$  – количество участков трубопроводов различного диаметра;

$K$  – коэффициент, учитывающий фактическое состояние тепловых сетей, он показывает отношение фактических удельных тепловых потерь через изоляцию трубопроводов тепловых сетей к нормируемым [6-23, 29].

Определение потерь тепловой энергии с учетом фактического состояния и условий эксплуатации трубопроводов, спроектированных до 1997 года:

$$K = K_{ст} \cdot K_{увл},$$

где  $K_{ст} = 1,36$  – коэффициент старения тепловой изоляции надземной, подземной канальной и бесканальной прокладки трубопроводов, построенных до 1997 года [6-23];

$K_{увл} = 1,9$  – коэффициент, учитывающий увеличение плотности теплового потока через изолированную поверхность двухтрубной тепловой сети при подземной канальной и бесканальной прокладке в результате частичного разрушения, намокания теплоизоляционного слоя от воздействия грунтовых вод [6-23];

$K_{увл} = 1,37$  – коэффициент, учитывающий незначительные разрушения покровного и теплоизоляционного слоев тепловой изоляции трубопроводов надземной прокладки [22, 23].

Коэффициент для трубопроводов подземной прокладки равен

$$K = K_{ст} \cdot K_{увл} = 1,36 \cdot 1,9 = 2,58.$$

Коэффициент для трубопроводов наземной прокладки равен

$$K = K_{ст} \cdot K_{увл} = 1,36 \cdot 1,37 = 1,86.$$

Результаты расчетов фактических часовых тепловых потерь сведены в таблицу 2.

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

| Тип прокладки тепловых сетей  | Экв. диаметр, м | Длина тр. (трассы), м | Коэф. п. мест. В | Коэф. п. изол. К | Отоп. период                 |                            | Межотоп. 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 |
| Подземная бесканальная прокладка тепловых сетей, введенных в эксплуатацию до 1997 г.          | 0,5             | 156818                | 1,15             | 2,58             | 171,0                        | 79693519                   | 145,1                        | 67614790                   |
| Подземная бесканальная прокладка тепловых сетей с ППУ теплоизоляцией                          | 0,5             | 110124                | 1,15             | 1,0              | 55,7                         | 7047711                    | 41,5                         | 5255972                    |
| Подземная прокладка в непроходных каналах тепловых сетей, введенных в эксплуатацию до 1997 г. | 0,4             | 65284                 | 1,15             | 2,58             | 92,3                         | 17914545                   | 75,1                         | 14562261                   |
| Подземная прокладка в непроходных каналах тепловых сетей с ППУ теплоизоляцией                 | 0,4             | 29555                 | 1,15             | 1,0              | 54,2                         | 1840776                    | 39,3                         | 1334216                    |
| Наземная прокладка тепловых сетей, введенных в эксплуатацию до 1997 г.                        | 0,9             | 37656                 | 1,15             | 1,86             | 236,6                        | 19087669                   | 196,8                        | 15876096                   |
| Наземная прокладка тепловых сетей с ППУ теплоизоляцией  | 0,9             | 4674                  | 1,15             | 1,00             | 153,3                        | 823971                     | 107,9                        | 579722                     |

Нормативные значения тепловых потерь за отопительный и межотопительный периоды функционирования теплопроводов определяются по формуле:

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

где  $T$  – количество часов работы.

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

$$Q_{год} = Q_{от.п} + Q_{межот.п}, \text{ Гкал}.$$

Снижение тепловых потерь в результате замены старых физически изношенных тепловых сетей на теплопроводы с ППУ изоляцией определяется по формуле:

$$\Delta Q = (Q_{1год} + Q_{годППУ}) - (Q_{2год} + Q_{годППУ}), \text{ Гкал},$$

где  $Q_{1год}$  – потери тепловых сетей, введенных в эксплуатацию до 1997 годы;

$Q_{2год}$  – потери реконструированных тепловых сетей (замена тепловых сетей, введенных в эксплуатацию до 1997 годы, на тепловые сети с ППУ теплоизоляцией);

$Q_{годППУ}$  – потери существующих тепловых сетей с ППУ теплоизоляцией.

Годовая экономия в денежном выражении определяются по формуле:

$$C = \Delta Q \cdot C_m, \text{ руб.},$$

где  $C_m$  – удельная стоимость тепловой энергии (тариф), равна в 2009 году 931 руб./Гкал.

Результаты расчетов сведены в таблицы 3-5.

**Таблица 3. Годовые потери тепла в настоящее время**

| Тип прокладки тепловых сетей, годовая экономия   | Экв. диаметр, м | Длина тр. (трассы), м | Отоп. период |                     |                   | Межотоп. период |                     |                   | За год $Q_{п.н.}$ , Гкал |
|--|-----------------|-----------------------|--------------|---------------------|-------------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------------------|
|  |                 |                       | $T_{п.}$ , ч | $Q_{п.н.}$ , ккал/ч | $Q_{п.н.}$ , Гкал | $T_{п.}$ , ч    | $Q_{п.н.}$ , ккал/ч | $Q_{п.н.}$ , Гкал |                          |
| Подземная бесканальная прокладка тепловых сетей, введенных в эксплуатацию в до 1997 г.           | 0,5             | 156818                | 5280         | 79693519            | 420782            | 3120            | 67614790            | 210958            | 631740                   |
| Подземная бесканальная прокладка тепловых сетей с ППУ теплоизоляцией                             | 0,5             | 110124                | 5280         | 7047711             | 37212             | 3120            | 5255972             | 16399             | 53611                    |
| Подземная прокладка в непроходных каналах тепловых сетей, введенных в эксплуатацию до 1997 г.    | 0,4             | 65284                 | 5280         | 17914545            | 94589             | 3120            | 14562261            | 45434             | 140023                   |
| Подземная прокладка в непроходных каналах тепловых сетей с ППУ теплоизоляцией                    | 0,4             | 29555                 | 5280         | 1840776             | 9719              | 3120            | 1334216             | 4163              | 13882                    |
| Надземная прокладка тепловых сетей, введенных в эксплуатацию до 1997 г.                          | 0,9             | 37656                 | 5280         | 19087669            | 100783            | 3120            | 15876096            | 49533             | 150316                   |
| Надземная прокладка тепловых сетей с ППУ теплоизоляцией  | 0,9             | 4674                  | 5280         | 823971              | 4351              | 3120            | 579722              | 1809              | 6159                     |
| <i>Итоговые потери при прокладке тепловых сетей, введенных в эксплуатацию до 1997 г., в Гкал</i> |                 |                       |              |                     | 616153            |                 |                     | 305926            | 922079                   |
| <i>Итоговые потери при прокладке тепловых сетей с ППУ теплоизоляцией, в Гкал</i>                 |                 |                       |              |                     | 51282             |                 |                     | 22370             | 73652                    |
| <i>Суммарные потери тепла в настоящее время, в Гкал</i>  |                 |                       |              |                     |                   |                 |                     |                   | 995731                   |
| <i>Годовые потери тепла в настоящее время, в тыс. руб.</i>                                       |                 |                       |              |                     |                   |                 |                     |                   | 927026                   |

**Таблица 4. Фактические значения часовых тепловых потерь для разных вариантов прокладки после реконструкции**

| Тип прокладки тепловых сетей  | Экв. диаметр, м | Длина тр. (трассы), м | Козф. п. мест. В | Козф. п. изол. К | Отоп. период                 |                            | Межотоп. 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 |
| Подземная бесканальная прокладка реконструированных тепловых сетей            | 0,5             | 156818                | 1,15             | 2,58             | 55,7                         | 25933107                   | 41,5                         | 19340134                   |
| Подземная бесканальная прокладка тепловых сетей с ППУ теплоизоляцией          | 0,5             | 110124                | 1,15             | 1,00             | 55,7                         | 7047711                    | 41,5                         | 5255972                    |
| Подземная прокладка в непроходных каналах реконструированных тепловых сетей   | 0,4             | 65284                 | 1,15             | 2,58             | 54,2                         | 10506773                   | 39,3                         | 7615428                    |
| Подземная прокладка в непроходных каналах тепловых сетей с ППУ теплоизоляцией | 0,4             | 29555                 | 1,15             | 1,00             | 54,2                         | 1840776                    | 39,3                         | 1334216                    |
| Надземная прокладка реконструированных тепловых сетей                         | 0,9             | 37656                 | 1,15             | 1,86             | 153,3                        | 12368489                   | 107,9                        | 8702120                    |
| Надземная прокладка тепловых сетей с ППУ теплоизоляцией                       | 0,9             | 4674                  | 1,15             | 1,00             | 153,3                        | 823971                     | 107,9                        | 579722                     |

**Таблица 5. Годовые потери тепла после реконструкции и годовая экономия в результате замены старых труб**

| Тип прокладки тепловых сетей, годовая экономия                                | Экв. диаметр, м | Длина тр. (трассы), м | Отоп. период        |                            |                          | Межотоп. период     |                            |                          | За год Q <sub>п.н.</sub> , Гкал |
|---|-----------------|-----------------------|---------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------------|
|   |                 |                       | T <sub>п.</sub> , ч | Q <sub>п.н.</sub> , ккал/ч | Q <sub>п.н.</sub> , Гкал | T <sub>п.</sub> , ч | Q <sub>п.н.</sub> , ккал/ч | Q <sub>п.н.</sub> , Гкал |                                 |
| Подземная бесканальная прокладка реконструированных тепловых сетей            | 0,5             | 156818                | 5280                | 25933107                   | 136927                   | 3120                | 19340134                   | 60341                    | 197268                          |
| Подземная бесканальная прокладка тепловых сетей с ППУ теплоизоляцией          | 0,5             | 110124                | 5280                | 7047711                    | 37212                    | 3120                | 5255972                    | 16399                    | 53611                           |
| Подземная прокладка в непроходных каналах реконструированных тепловых сетей   | 0,4             | 65284                 | 5280                | 10506773                   | 55476                    | 3120                | 7615428                    | 23760                    | 79236                           |
| Подземная прокладка в непроходных каналах тепловых сетей с ППУ теплоизоляцией | 0,4             | 29555                 | 5280                | 1840776                    | 9719                     | 3120                | 1334216                    | 4163                     | 13882                           |
| Надземная прокладка реконструированных тепловых сетей                         | 0,9             | 37656                 | 5280                | 12368489                   | 65306                    | 3120                | 8702120                    | 27151                    | 92456                           |
| Надземная прокладка тепловых сетей с ППУ теплоизоляцией                       | 0,9             | 4674                  | 5280                | 823971                     | 4351                     | 3120                | 579722                     | 1809                     | 6159                            |
| Итоговые потери реконструированных тепловых сетей, в Гкал                     |                 |                       |                     |                            | 257708                   |                     |                            | 111252                   | 368960                          |

| Тип прокладки тепловых сетей, годовая экономия                             | Экв. диаметр, м | Длина тр. (трассы), м | Отоп. период        |                            |                          | Межотоп. период     |                            |                          | За год Q <sub>п.н.</sub> , Гкал |
|--|-----------------|-----------------------|---------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------------|
|  |                 |                       | T <sub>п.</sub> , ч | Q <sub>п.н.</sub> , ккал/ч | Q <sub>п.н.</sub> , Гкал | T <sub>п.</sub> , ч | Q <sub>п.н.</sub> , ккал/ч | Q <sub>п.н.</sub> , Гкал |                                 |
| Итоговые потери существующих тепловых сетей с ППУ теплоизоляцией, в Гкал   |                 |                       |                     |                            | 51282                    |                     |                            | 22370                    | 73652                           |
| Суммарные потери тепла после реконструкции, в Гкал                         |                 |                       |                     |                            |                          |                     |                            |                          | 442612                          |
| Годовые потери тепла после реконструкции, в тыс. руб.                      |                 |                       |                     |                            |                          |                     |                            |                          | 412072                          |
| Снижение тепловых потерь в результате замены старых тепловых сетей, в Гкал |                 |                       |                     |                            |                          |                     |                            |                          | 553119                          |
| Годовая экономия в результате замены старых тепловых сетей, в тыс. руб.    |                 |                       |                     |                            |                          |                     |                            |                          | 514954                          |

## 8. Применение ППУ с пониженной теплопроводностью

Для реконструкции тепловых сетей целесообразно применять трубы в ППУ теплоизоляции с коэффициентом теплопроводности при средней температуре 50 °С – не более 0,029 Вт/(м·°С) [2, 6, 33], например с водно-фреоновыми, либо циклопентановыми системами ППУ. При этом снижение тепловых потерь в результате реконструкции составит 620272 Гкал в год, а экономия – 577437 тыс. рублей в год (по данным 2009 года), то есть можно добиться дополнительной ежегодной экономии в 67153 Гкал (62519 тыс. рублей).

## 9. Заключение

В результате реконструкции 519516 м теплопроводов (259758 м в двухтрубном исчислении) физических изношенных тепловых сетей филиала «Невский» ОАО «ТГК-1» ежегодное снижение технологического расхода тепловой энергии на ее транспортировку от источника до потребителя (тепловые потери) составит 620 тыс. Гкал или в денежном выражении на 577 млн. рублей (по данным 2009 года).

В соответствии со Схемой теплоснабжения [1] к 2030 году планируется реконструировать 163900 м теплопроводов (819500 м в двухтрубном исчислении) ветхих тепловых сетей, находящихся на балансе ОАО «Теплосеть Санкт-Петербурга». В результате реконструкции по этому сценарию, с учетом применения ППУ с пониженной теплопроводностью, ежегодное снижение потерь тепловой энергии может составить до 1957 тыс. Гкал. При тарифе на тепловую энергию ОАО «Теплосеть Санкт-Петербурга» 1408 рублей за Гкал (в декабре 2014 года) ежегодная экономия может достигать 2,755 млрд. рублей.

Кроме того, можно значительно повысить надежность теплоснабжения за счет сокращения повреждений, а также материальных и финансовых затрат для их устранения. Материальные и финансовые затраты для устранения одного разрыва на теплопроводе диаметром 500 мм, а также упущенная выгода за недоотпуск тепла потребителям, ориентировочно составляют 1,3 млн. рублей. В результате снижения количества разрывов на теплопроводах на 50 % финансовые потери снизятся не менее чем на 900 млн. рублей за год.

Применение современных энергоэффективных технологий, оборудования и материалов (гофрированные трубы из нержавеющей стали [34, 35], полимерные трубы [36-41], системы дистанционного контроля увлажнения теплоизоляции, станции коррозионной защиты, шаровые краны, гидроизолированные неподвижные щитовые опоры, гидроизолированные сильфонные компенсаторы [42], разрезные приварные полиэтиленовые муфты [43]) и организация строго строительного контроля [2, 44-46] при строительстве и реконструкции тепловых сетей служат снижению потерь тепловой энергии и утечек горячей воды, являясь основными вехами по пути энергосбережения.

**Материальная характеристика тепловых сетей ОАО «ТГК-1»  
(данные 2009 года)**

| Ду,<br>мм | Тип<br>прокладки | Протяженность трубопроводов теплосетей, м трассы<br>по срокам эксплуатации |        |       |       |       |          |        | L, м<br>в ППУ | L, м<br>без ППУ | Ду·L, мм·м<br>в ППУ | Ду·L, мм·м<br>без ППУ |
|-----------|------------------|--|--------|-------|-------|-------|----------|--------|---------------|-----------------|---------------------|-----------------------|
|           |                  | до 5 лет   | 6-10   | 11-15 | 16-20 | 21-25 | более 25 | всего  |               |                 |                     |                       |
| до 200    | наземная         | 10   | 508    | 1 098 | 818   | 886   | 3 339    | 6 659  | 518           | 6 141           | 77700               | 921150                |
|           | канальная        | 1 493  | 6 176  | 746   | 2 421 | 2 617 | 20 974   | 34 427 | 7 669         | 26 758          | 1150350             | 4013700               |
|           | бесканальная     | 5 594  | 5 098  | 4 489 | 3 410 | 2 034 | 2 687    | 23 312 | 10 692        | 12 620          | 1603800             | 1893000               |
|           | итого            | 7 097  | 11 782 | 6 333 | 6 649 | 5 537 | 27 000   | 64 398 | 18 879        | 45 519          | 2831850             | 6827850               |
| 200       | наземная         | 0  | 0      | 188   | 0     | 5     | 76       | 269    | 0             | 269             | 0                   | 53800                 |
|           | канальная        | 337  | 659    | 751   | 255   | 227   | 4 149    | 6 378  | 996           | 5 382           | 199200              | 1076400               |
|           | бесканальная     | 3 335  | 3 631  | 4 564 | 2 009 | 1 175 | 3 907    | 18 621 | 6 966         | 11 655          | 1393200             | 2331000               |
|           | итого            | 3 672  | 4 290  | 5 503 | 2 264 | 1 407 | 8 132    | 25 268 | 7 962         | 17 306          | 1592400             | 3461200               |
| 250       | наземная         | 140  | 0      | 37    | 108   | 23    | 1 921    | 2 229  | 140           | 2 089           | 35000               | 522250                |
|           | канальная        | 1 025  | 961    | 554   | 440   | 350   | 1 608    | 4 938  | 1 986         | 2 952           | 496500              | 738000                |
|           | бесканальная     | 3 958  | 4 342  | 4 581 | 3 224 | 1 673 | 3 617    | 21 395 | 8 300         | 13 095          | 2075000             | 3273750               |
|           | итого            | 5 123  | 5 303  | 5 172 | 3 772 | 2 046 | 7 146    | 28 562 | 10 426        | 18 136          | 2606500             | 4534000               |
| 300       | наземная         | 53   | 61     | 112   | 79    | 0     | 156      | 461    | 114           | 347             | 34200               | 104100                |
|           | канальная        | 853  | 444    | 583   | 634   | 319   | 2 770    | 5 603  | 1 297         | 4 306           | 389100              | 1291800               |
|           | бесканальная     | 6 654  | 6 042  | 8 024 | 2 109 | 907   | 5 023    | 28 759 | 12 696        | 16 063          | 3808800             | 4818900               |
|           | итого            | 7 560  | 6 547  | 8 719 | 2 822 | 1 226 | 7 949    | 34 823 | 14 107        | 20 716          | 4232100             | 6214800               |
| 350       | наземная         | 0  | 0      | 0     | 0     | 0     | 0        | 0      | 0             | 0               | 0                   | 0                     |
|           | канальная        | 1  | 0      | 0     | 113   | 0     | 537      | 651    | 1             | 650             | 350                 | 227500                |
|           | бесканальная     | 3  | 7      | 5     | 327   | 0     | 1 979    | 2 321  | 10            | 2 311           | 3500                | 808850                |
|           | итого            | 4  | 7      | 5     | 440   | 0     | 2 516    | 2 972  | 11            | 2 961           | 3850                | 1036350               |
| 400       | наземная         | 35   | 60     | 372   | 100   | 0     | 155      | 722    | 95            | 627             | 38000               | 250800                |
|           | канальная        | 1 668  | 1 181  | 1 248 | 1 033 | 763   | 3 646    | 9 539  | 2 849         | 6 690           | 1139600             | 2676000               |
|           | бесканальная     | 6 575  | 5 630  | 8 003 | 6 690 | 3 670 | 2 316    | 32 884 | 12 205        | 20 679          | 4882000             | 8271600               |
|           | итого            | 8 278  | 6 871  | 9 623 | 7 823 | 4 433 | 6 117    | 43 145 | 15 149        | 27 996          | 6059600             | 11198400              |
| 500       | наземная         | 30   | 328    | 80    | 85    | 16    | 591      | 1 130  | 358           | 772             | 179000              | 386000                |
|           | канальная        | 1 440  | 1 009  | 614   | 1 289 | 915   | 1 157    | 6 424  | 2 449         | 3 975           | 1224500             | 1987500               |
|           | бесканальная     | 13 127   | 8 923  | 7 642 | 8 451 | 7 866 | 5 316    | 51 325 | 22 050        | 29 275          | 11025000            | 14637500              |
|           | итого            | 14 597   | 10 260 | 8 336 | 9 825 | 8 797 | 7 064    | 58 879 | 24 857        | 34 022          | 12428500            | 17011000              |
| 600       | наземная         | 96   | 43     | 0     | 139   | 0     | 0        | 278    | 139           | 139             | 83400               | 83400                 |
|           | канальная        | 491  | 290    | 374   | 145   | 251   | 296      | 1 847  | 781           | 1 066           | 468600              | 639600                |
|           | бесканальная     | 3 918  | 6 115  | 3 891 | 1 132 | 2 572 | 1 467    | 19 095 | 10 033        | 9 062           | 6019800             | 5437200               |
|           | итого            | 4 505  | 6 448  | 4 265 | 1 416 | 2 823 | 1 763    | 21 220 | 10 953        | 10 267          | 6571800             | 6160200               |

| Ду,<br>мм  | Тип<br>прокладки | Протяженность трубопроводов теплосетей, м трассы<br>по срокам эксплуатации |        |        |        |        |          |                                    | L, м<br>в ППУ | L, м<br>без ППУ | Ду·L, мм·м<br>в ППУ | Ду·L, мм·м<br>без ППУ |
|------------|------------------|--|--------|--------|--------|--------|----------|------------------------------------|---------------|-----------------|---------------------|-----------------------|
|            |                  | до 5 лет   | 6-10   | 11-15  | 16-20  | 21-25  | более 25 | всего                              |               |                 |                     |                       |
| 700        | наземная         | 446  | 35     | 880    | 0      | 5 265  | 205      | 6 831                              | 481           | 6 350           | 336700              | 4445000               |
|            | канальная        | 750  | 822    | 1 083  | 250    | 712    | 829      | 4 446                              | 1 572         | 2 874           | 1100400             | 2011800               |
|            | бесканальная     | 4 473  | 5 335  | 6 094  | 4 039  | 1 387  | 7 457    | 28 785                             | 9 808         | 18 977          | 6865600             | 13283900              |
|            | итого            | 5 669  | 6 192  | 8 057  | 4 289  | 7 364  | 8 491    | 40 062                             | 11 861        | 28 201          | 8302700             | 19740700              |
| 800        | наземная         | 316  | 0      | 117    | 0      | 65     | 0        | 498                                | 316           | 182             | 252800              | 145600                |
|            | канальная        | 1 447  | 344    | 553    | 287    | 301    | 152      | 3 084                              | 1 791         | 1 293           | 1432800             | 1034400               |
|            | бесканальная     | 4 836  | 2 189  | 2 030  | 2930   | 5 622  | 3 362    | 20 969                             | 7 025         | 13 944          | 5620000             | 11155200              |
|            | итого            | 6 599  | 2 533  | 2 700  | 3 217  | 5 988  | 3 514    | 24 551                             | 9 132         | 15 419          | 7305600             | 12335200              |
| 900        | наземная         | 0  | 0      | 0      | 0      | 0      | 0        | 0                                  | 0             | 0               | 0                   | 0                     |
|            | канальная        | 0  | 0      | 0      | 0      | 0      | 0        | 0                                  | 0             | 0               | 0                   | 0                     |
|            | бесканальная     | 0  | 0      | 5      | 0      | 0      | 6        | 11                                 | 0             | 11              | 0                   | 9900                  |
|            | итого            | 0  | 0      | 5      | 0      | 0      | 6        | 11                                 | 0             | 11              | 0                   | 9900                  |
| 1000       | наземная         | 544  | 418    | 2 044  | 55     | 52     | 903      | 4 016                              | 962           | 3 054           | 962000              | 3054000               |
|            | канальная        | 4 012  | 2 364  | 235    | 1 209  | 76     | 1 650    | 9 546                              | 6 376         | 3 170           | 6376000             | 3170000               |
|            | бесканальная     | 8 047  | 1 949  | 724    | 1 949  | 1 461  | 2 295    | 16 425                             | 9 996         | 6 429           | 9996000             | 6429000               |
|            | итого            | 12 603   | 4 731  | 3 003  | 3 213  | 1 589  | 4 848    | 29 987                             | 17 334        | 12 653          | 17334000            | 12653000              |
| 1200       | наземная         | 610  | 222    | 0      | 0      | 3 406  | 3 415    | 7 653                              | 832           | 6 821           | 998400              | 8185200               |
|            | канальная        | 286  | 1 502  | 121    | 223    | 5 065  | 29       | 7 226                              | 1 788         | 5 438           | 2145600             | 6525600               |
|            | бесканальная     | 130  | 128    | 719    | 130    | 118    | 1 730    | 2 955                              | 258           | 2 697           | 309600              | 3236400               |
|            | итого            | 1 026  | 1 852  | 840    | 353    | 8 589  | 5 174    | 17 834                             | 2 878         | 14 956          | 3453600             | 17947200              |
| 1400       | наземная         | 674  | 45     | 0      | 1 792  | 0      | 9 073    | 11 584                             | 719           | 10 865          | 1006600             | 15211000              |
|            | канальная        | 0  | 0      | 0      | 0      | 0      | 730      | 730                                | 0             | 730             | 0                   | 1022000               |
|            | бесканальная     | 0  | 85     | 0      | 0      | 0      | 0        | 85                                 | 85            | 0               | 119000              | 0                     |
|            | итого            | 674  | 130    | 0      | 1 792  | 0      | 9 803    | 12 399                             | 804           | 11 595          | 1125600             | 16233000              |
| от<br>1400 | наземная         | 2 954  | 1 720  | 4 928  | 3 176  | 9 718  | 19 834   | 42 330                             | 4 674         | 37 656          | 4 003 800           | 33 362 300            |
|            | канальная        | 13 803   | 15 752 | 6 862  | 8 299  | 11 596 | 38 527   | 94 839                             | 29 555        | 65 284          | 16 123 000          | 26 414 300            |
|            | бесканальная     | 60 650   | 49 474 | 50 771 | 36 400 | 28 485 | 41 162   | 266 942                            | 110 124       | 156 818         | 53 721 300          | 75 586 200            |
|            | <i>Всего</i>     | 77 407   | 66 946 | 62 561 | 47 875 | 49 799 | 99 523   | 404 111                            | 144 353       | 259 758         | 73 848 100          | 135 362 800           |
|            |                  |  |        |        |        |        |          | <i>Д<sub>эке</sub> наз., мм</i>    | 857           | 886             |                     |                       |
|            |                  |  |        |        |        |        |          | <i>Д<sub>эке</sub> кан., мм</i>    | 546           | 405             |                     |                       |
|            |                  |  |        |        |        |        |          | <i>Д<sub>эке</sub> бескан., мм</i> | 488           | 482             |                     |                       |
|            |                  |  |        |        |        |        |          | <i>Д<sub>эке</sub>, мм</i>         | 512           | 521             |                     |                       |

Приложение 2

**Удельные средние теплотери для двухтрубной теплотрассы  
в ППУ изоляции (подземная бесканальная прокладка)**

| Наружный диаметр тр., мм                          | Толщина стенки тр., мм | Межосевое расстояние, мм | Толщина ППУ для ОПЭ, мм | Толщина ОПЭ, мм      | Толщина ППУ с ОПЭ, мм | Глубина прокладки, м | Расчетные потери обратного тр., Вт/м | Расчетные потери подающего тр., Вт/м | Расчетные потери 2-х тр., Вт/м |
|---|------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|
| ГОСТ 30732  | ГОСТ 30732             | Альбомы ЛГИП             | ТУ 5768-013-70629337    | ТУ 5768-013-70629337 | ТУ 5768-013-70629337  | СП 41-105            | СП 61.13330                          | СП 61.13330                          | СП 61.13330                    |
| при средних температурах теплоносителя 90 и 50 °С |                        |                          |                         |                      |                       |                      |                                      |                                      |                                |
| 530   | 7,0                    | 1000                     | 78,9                    | 11,1                 | 90,0                  | 1,5                  | 17,2                                 | 43,9                                 | 61,1                           |
| при средних температурах теплоносителя 65 и 50 °С |                        |                          |                         |                      |                       |                      |                                      |                                      |                                |
| 530   | 7,0                    | 1000                     | 78,9                    | 11,1                 | 90,0                  | 1,5                  | 19,2                                 | 28,8                                 | 48,0                           |

Примечание:

Расчет выполнен при температуре грунта 5 °С на глубине заложения до оси теплопровода [11, 15].

Приложение 3

**Удельные средние теплотери для двухтрубной теплотрассы  
в ППУ изоляции (прокладка в канале)**

| Наружный диаметр тр., мм                          | Толщина стенки тр., мм | Толщина ППУ для ОПЭ, мм | Толщина ОПЭ, мм      | Толщина ППУ с ОПЭ, мм | Глубина прокладки, м | Расчетные потери обратного тр., Вт/м | Расчетные потери подающего тр., Вт/м | Расчетные потери 2-х тр., Вт/м |
|---|------------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|
| ГОСТ 30732  | ГОСТ 30732             | ТУ 5768-013-70629337    | ТУ 5768-013-70629337 | ТУ 5768-013-70629337  | СП 41-105            | СП 61.13330                          | СП 61.13330                          | СП 61.13330                    |
| при средних температурах теплоносителя 90 и 50 °С |                        |                         |                      |                       |                      |                                      |                                      |                                |
| 426   | 7,0                    | 58,2                    | 8,8                  | 67,0                  | 1,5                  | 14,2                                 | 45,7                                 | 59,9                           |
| при средних температурах теплоносителя 65 и 50 °С |                        |                         |                      |                       |                      |                                      |                                      |                                |
| 426   | 7,0                    | 58,2                    | 8,8                  | 67,0                  | 1,5                  | 17,4                                 | 28,7                                 | 46,1                           |

Примечание:

Расчет выполнен при температуре грунта 5 °С на глубине заложения до оси теплопровода [11, 15].

Приложение 4

**Удельные средние теплотери для двухтрубной теплотрассы в ППУ изоляции  
(наземная прокладка)**

| Наружный диаметр тр., мм                          | Толщина стенки тр., мм | Толщина ППУ, мм      | Толщина ООС, мм      | Толщина ППУ с ООС, мм | Расчетные потери обратного тр., Вт/м | Расчетные потери подающего тр., Вт/м |
|---|------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| ГОСТ 30732  | ГОСТ 30732             | ТУ 5768-013-70629337 | ТУ 5768-013-70629337 | ТУ 5768-013-70629337  | СП 61.13330                          | СП 61.13330                          |
| при средних температурах теплоносителя 90 и 50 °С |                        |                      |                      |                       |                                      |                                      |
| 920   | 10,0                   | 74,4                 | 1,0                  | 75,4                  | 52,6                                 | 108,2                                |
| при средних температурах теплоносителя 65 и 50 °С |                        |                      |                      |                       |                                      |                                      |
| 920   | 10,0                   | 74,4                 | 1,0                  | 75,4                  | 52,6                                 | 72,5                                 |

Примечание:

Расчет выполнен при температуре наружного воздуха 5 °С [11, 15].

## Литература

- [1] Схема теплоснабжения Санкт-Петербурга на период до 2030 года (ОАО «Газпром промгаз», 2014), утв. Приказом Министерства энергетики РФ от 09.12.2014 № 906.
- [2] РМД 41-11-2012 Санкт-Петербург (актуализирован в 2014 г.) Устройство тепловых сетей в Санкт-Петербурге.
- [3] Внедрение РМД 41-11-2012 Санкт-Петербург «Устройство тепловых сетей в Санкт-Петербурге». Ватин Н.И., Дубов В.В., Петраков Г.П. // Строительство уникальных зданий и сооружений, 2013, № 1 (6).
- [4] О разработке РМД 40-20-2013 Санкт-Петербург «Устройство сетей водоснабжения и водоотведения в Санкт-Петербурге». Ватин Н.И., Курганов Ю.А., Петраков Г.П., Старков В.Н. // Строительство уникальных зданий и сооружений, 2014, № 1 (16).
- [5] Петраков Г.П., Слепченко В.С. Система теплоснабжения Санкт-Петербурга на современном этапе и возможности ее модернизации // Инженерно-строительный журнал, 2009, № 7.
- [6] 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.
- [7] Eriksson D., Sunden B. Heat and mass transfer in polyurethane insulated district cooling and heating pipes // Journal of Building physics, 1998. Vol. 22. № 1. Pp. 110-131.
- [8] Lotz W. Pipe insulation specification process // Heating, Piping, Air Conditioning Engineering, 2003. Vol. 75. № 10. Pp. 58-69.
- [9] Comakli K., Yukset B., Comakli O. Evaluation of energy and energy losses in district heating network // Applied Thermal Engineering, 2004. Vol. 24. № 7. Pp. 1009-1017.
- [10] Fahlen E., Ahlgren E. Accounting for external costs in a study of a Swedish district-heating system – An assessment of environmental policies // Energy Policy, 2010. Vol. 38. Pp. 4909-4920.
- [11] Dalla Rosa A., Li H., Svendsen S. Method for optimal design of pipes for low-energy district heating, with focus on heat losses // Energy, 2011. Vol. 36. № 5. Pp. 2407-2418.
- [12] Emmanuel C. Insulation model for energy conservation in buildings // Energy Engineering, 2011. Vol. 108. № 3. Pp. 37-60.
- [13] Rezaie B., Rosen M. District heating and cooling: Review of technology and potential enhancements // Applied Energy, 2012. Vol. 93. Pp. 2-10.
- [14] Magnusson D. Swedish district heating – A system in stagnation: Current and future trends in the district heating sector // Energy Policy, 2012. Vol. 48. Pp. 449-459.
- [15] Hawkey D. District heating in the UK: A Technological Innovation Systems analysis // Environments Innovation and Societal Transitions, 2012. Vol. 5. Pp. 19-32.
- [16] Кузнецов Г.В., Половников В.Ю. Анализ тепловых потерь теплотрубопроводов в условиях увлажнения изоляции с учетом процесса испарения влаги // Известия Томского политехнического института, 2008, № 4.
- [17] Экспериментальное исследование тепловых режимов теплопроводов в условиях увлажнения изоляции / Логинов В.С., Половников В.Ю., Кравченко Д.К., Рябичев Т.В. // Известия Томского политехнического института, 2009, № 4.
- [18] Кузнецов Г.В., Половников В.Ю. Численный анализ тепловых потерь теплопроводов с учетом конвективного движения воздуха в полости канала и теплового излучения // Интернет-вестник ВолгГАСУ, 2011, № 6 (18).
- [19] Кузнецов Г.В., Половников В.Ю. Тепловые потери подземных канальных теплопроводов в условиях деформации слоя тепловой изоляции с учетом радиационного теплообмена в полости канала // Инженерно-строительный журнал, 2012, № 2.
- [20] Половников В.Ю., Хузеев В.А. Численный анализ влияния промерзания грунта в зоне прокладки на тепловые потери бесканальных теплопроводов // Инженерно-строительный журнал, 2013, № 2.
- [21] Половников В.Ю., Глазырин Е.С. Численный анализ влияния инженерных сооружений на тепловые потери бесканальных теплопроводов // Инженерно-строительный журнал, 2014, № 2.
- [22] Расчет потребности в ресурсах для производства и передачи тепловой энергии / Слепченко В.С., Кузнецов Е.П., Зак М.Л., Быстров В.Д. // ФГОУ ДПО «ПЭИПК», 2010.
- [23] Приказ Министерства энергетики РФ «Об организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по утверждению нормативов технологических потерь при передаче тепловой энергии» от 30.12.2009 № 325.
- [24] Справочник по климату СССР. Вып. 1-34 // Гидрометеиздат. 1964-1971.
- [25] СП 131.13330.2012 Строительная климатология (актуализация СНиП 23-01-99\*).

- [26] Правила технической эксплуатации тепловых энергоустановок. 2003.
- [27] СП 124.13330.2012 Тепловые сети (актуализация СНиП 41-02-2003).
- [28] СП 61.13330.2012 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов (актуализация СНиП 41-03-2000, СП 41-103-2000).
- [29] Методика определения потребности в топливе, электрической энергии и воде при производстве и передаче тепловой энергии и теплоносителей в системах коммунального теплоснабжения (МДК 4-05.2004), утв. Госстроем России 12.08.2003.
- [30] Годовой отчет Предприятия «Тепловая сеть» филиала «Невский» ОАО «ТГК-1» за 2009 год.
- [31] ГОСТ 30732-2006 Трубы и фасонные изделия стальные с тепловой изоляцией из пенополиуретана с защитной оболочкой. Технические условия.
- [32] Копко В.М. Теплоизоляция трубопроводов теплосетей. Учебно-методическое пособие // Технопринт, 2002.
- [33] Элвикс А.А. Особенности изготовления и применения стальных труб с пенополиуретановой изоляцией в условиях балтийского рынка. Отличия российских и европейских стандартов. XI Всероссийская конференция «Тепло России» // Ассоциация производителей и потребителей трубопроводов с индустриальной полимерной изоляцией, 2011.
- [34] Гибкие предизолированные тепловые гофрированные трубы из нержавеющей стали / Кононов П.В., Коврига В.В., Шмелев А.Ю. // Безопасность труда в промышленности, 2007, № 7.
- [35] Шмелев А.Ю. КАСАФЛЕКС – гибкая альтернатива для сетей отопления // Полимерные трубы, 2008, № 4 (22).
- [36] Шрамм Д. Василенко А. В семействе DOWLEX™ PE-RT – пополнение // Хим-курьер. 2011, № 13 (332).
- [37] Рябов А. Василенко А. Перспективный сегмент DOWLEX™ PE-RT – трубы большого диаметра // Хим-курьер, 2012, № 13 (356).
- [38] Коврига В.В. PE-RT: Всему есть предел // Полимерные трубы, 2012, № 1 (35).
- [39] Гвоздев И.В. Горюховский М.И. В продолжение дискуссии // Полимерные трубы, 2012, № 2 (36).
- [40] Петраков Г.П. Срок службы пластиковых труб в пенополиуретановой изоляции, применяемых для систем теплоснабжения // Инженерно-строительный журнал, 2012, № 3.
- [41] Фуртаева С.В. Опыт применения труб из полиэтилена повышенной термостойкости (DOWLEX™ PE-RT тип II) в ЖКХ Санкт-Петербурга // Энергонадзор-информ, 2012, № 2 (52).
- [42] Антонова Е.Е. Практика применения устройств для компенсации тепловых расширений в трубопроводных системах горячего водоснабжения и отопления // Энергонадзор-информ, 2012, № 2 (52).
- [43] Артемьев А.И. Технология теплоизоляции стыковых соединений трубопроводов в ППУ-изоляции с применением заливочных машин // Энергонадзор-информ, 2012, № 3 (53).
- [44] 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.
- [45] Королев И.А. Испытания предизолированных труб на тангенциальный сдвиг // Энергонадзор-информ, 2012, № 2 (52).
- [46] Королев И.А. Технологический аспект обеспечения качества труб в ППУ изоляции // Энергонадзор-информ, 2013, № 2 (56).

## The economic efficiency of replacement of old heating pipes in St. Petersburg

G.P. Petrakov<sup>1</sup>, V.S. Slepchenok<sup>2</sup>

"103 Trest" GC, St. Petersburg, st. Zaitseva, 4, bl. 2, let. A, 198096, Russia.

---

### ARTICLE INFO

miscellaneous

doi:

### Article history

Received 10.02.2015

### Keywords

heating networks;  
reconstruction;  
economic efficiency;

---

### ABSTRACT

The heating pipelines are the most vulnerable element of district heating system. The average service life of heating pipelines which were built in the Soviet Union does not exceed 15 years. Every year in St. Petersburg 230 km of heating pipes in one pipe calculation goes up in the category of network that has reached the passport life (25 years). Reconstruction of old heating networks with installing new pipelines in polyurethane foam insulation will reduce heat loss significantly. In the article the economic efficiency of the reconstruction of district heat networks calculated. In accordance with the scheme of heat supply by 2030 planed to renovate 163900 m of heating pipelines (819500 m in the double-pipe calculation) dilapidated heating networks owned by the "St. Petersburg Heating" JSC.

1

Corresponding author:

+7 (911) 208 9574, p@103trest.ru (Gennadii Petrovich Petrakov)

2

+7 (921) 355 6236, slepv@mail.ru (Valerii Semenovich Slepchenok)

## References

- [1] Skhema teplosnabzheniya Sankt-Peterburga na period do 2030 goda (OAO «Gazprom promgaz», 2014), utv. Prikazom Ministerstva energetiki RF ot 09.12.2014 № 906. (rus).
- [2] RMD 41-11-2012 Sankt-Peterburg (aktualizirovan v 2014 g.) Ustroystvo teplovykh setey v Sankt-Peterburge. (rus).
- [3] Vnedreniye RMD 41-11-2012 Sankt-Peterburg «Ustroystvo teplovykh setey v Sankt-Peterburge». Va-tin N.I., Dubov V.V., Petrakov G.P. // Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy, 2013, № 1 (6) (rus).
- [4] O razrabotke RMD 40-20-2013 Sankt-Peterburg «Ustroystvo setey vodosnabzheniya i vodootvedeniya v Sankt-Peterburge». Vatin N.I., Kurganov Yu.A., Petrakov G.P., Starkov V.N. // Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy, 2014, № 1 (16) (rus).
- [5] Petrakov G.P., Slepchenok V.S. Sistema teplosnabzheniya Sankt-Peterburga na sovremennom etape i vozmozhnosti yeye modernizatsii // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal, 2009, № 7 (rus).
- [6] 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.
- [7] Eriksson D., Sunden V. Heat and mass transfer in polyurethane insulated district cooling and heating pipes // Journal of Building physics, 1998. Vol. 22. № 1. Pp. 110-131.
- [8] Lotz W. Pipe insulation specification process // Heating, Piping, Air Conditioning Engineering, 2003. Vol. 75. № 10. Pp. 58-69.
- [9] Comakli K., Yukset B., Comakli O. Evaluation of energy and energy losses in district heating network // Applied Thermal Engineering, 2004. Vol. 24. № 7. Pp. 1009-1017.
- [10] Fahlen E., Ahlgren E. Accounting for external costs in a study of a Swedish district-heating system – An assessment of environmental policies // Energy Policy, 2010. Vol. 38. Pp. 4909-4920.
- [11] Dalla Rosa A., Li H., Svendsen S. Method for optimal design of pipes for low-energy district heating, with focus on heat losses // Energy, 2011. Vol. 36. № 5. Pp. 2407-2418.
- [12] Emmanuel C. Insulation model for energy conservation in buildings // Energy Engineering, 2011. Vol. 108. № 3. Pp. 37-60.
- [13] Rezaie V., Rosen M. District heating and cooling: Review of technology and potential enhancements // Applied Energy, 2012. Vol. 93. Pp. 2-10.
- [14] Magnusson D. Swedish district heating – A system in stagnation: Current and future trends in the district heating sector // Energy Policy, 2012. Vol. 48. Pp. 449-459.
- [15] Hawkey D. District heating in the UK: A Technological Innovation Systems analysis // Environments Innovation and Societal Transitions, 2012. Vol. 5. Pp. 19-32.
- [16] Kuznetsov G.V., Polovnikov V.Yu. Analiz teplovykh poter teplotruboprovodov v usloviyakh uvlazhneniya izolyatsii s uchetom protsessa ispareniya vlagi // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo institute, 2008, № 4 (rus).
- [17] Eksperimentalnoye issledovaniye teplovykh rezhimov teploprovodov v usloviyakh uvlazhneniya izolyatsii / Loginov V.S., Polovnikov V.Yu., Kravchenko D.K., Ryabichev T.V. // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo institute, 2009, № 4 (rus).
- [18] Kuznetsov G.V., Polovnikov V.Yu. Chislennyy analiz teplovykh poter teploprovodov s uchetom konvektivnogo dvizheniya vozdukh v polosti kanala i teplovogo izlucheniya // Internet-vestnik VolgGASU, 2011, № 6 (18) (rus).
- [19] Kuznetsov G.V., Polovnikov V.Yu. Teplovyye poteri podzemnykh kanalnykh teploprovodov v usloviyakh deformatsii sloya teplovoy izolyatsii s uchetom radiatsionnogo teploobmena v polosti kanala // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal, 2012, № 2 (rus).
- [20] Polovnikov V.Yu., Khuzeyev V.A. Chislennyy analiz vliyaniya promerzaniya grunta v zone prokladki na teplovyye poteri beskanalnykh teploprovodov // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal, 2013, № 2 (rus).
- [21] Polovnikov V.Yu., Glazyrin Ye.S. Chislennyy analiz vliyaniya inzhenernykh sooruzheniy na teplovyye poteri beskanalnykh teploprovodov // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal, 2014, № 2 (rus).
- [22] Raschet potrebnosti v resursakh dlya proizvodstva i peredachi teplovoy energii / Slepchenok V.S., Kuznetsov Ye.P., Zak M.L., Bystrov V.D. // FGOU DPO «PEIPK», 2010 (rus).
- [23] Prikaz Ministerstva energetiki RF «Ob organizatsii v Ministerstve energetiki Rossiyskoy Federatsii raboty po utverzhdeniyu normativov tekhnologicheskikh poter pri peredache teplovoy energii» ot 30.12.2009 № 325 (rus).
- [24] Spravochnik po klimatu SSSR. Vyp. 1-34 // Gidrometeoizdat, 1964-1971 (rus).
- [25] SP 131.13330.2012 Stroitel'naya klimatologiya (aktualizatsiya SNiP 23-01-99\*) (rus).

- [26] Pravila tekhnicheskoy ekspluatatsii teplovykh energoustanovok, 2003 (rus).
- [27] SP 124.13330.2012 Teplovyye seti (aktualizatsiya SNIIP 41-02-2003) (rus).
- [28] SP 61.13330.2012 Teplovaya izolyatsiya oborudovaniya i truboprovodov (aktualizatsiya SNIIP 41-03-2000, SP 41-103-2000) (rus).
- [29] Metodika opredeleniya potrebnosti v toplive, elektricheskoy energii i vode pri proizvodstve i peredache teplovykh energii i teplonositeley v sistemakh kommunalnogo teplosnabzheniya (MDK 4-05.2004), utv. Gosstroyem Rossii 12.08.2003 (rus).
- [30] Godovoy otchet Predpriyatiya «Teplovaya set» filiala «Nevskiy» OAO «TGG-1» za 2009 god (rus).
- [31] GOST 30732-2006 Truby i fasonnyye izdeliya stalnyye s teplovykh izolyatsiyey iz penopoliiuretana s zashchitnoy obolochkoy. Tekhnicheskiye usloviya (rus).
- [32] Kopko V.M. Teploizolyatsiya truboprovodov teplosetey. Uchebno-metodicheskoye posobiye // Tekhnoprint, 2002 (rus).
- [33] Elviks A.A. Osobennosti izgotovleniya i primeneniya stalnykh trub s penopoliiuretanovoy izolyatsiyey v usloviyakh baltiyskogo rynka. Otlichiya rossiyskikh i yevropeyskikh standartov. XI Vserossiyskaya konferentsiya «Teplo Rossii» // Assotsiatsiya proizvoediteley i potrebiteley truboprovodov s industrialnoy polimernoy izolyatsiyey, 2011 (rus).
- [34] Gibkiye predizolirovannyye teplovyye gofrirovannyye truby iz nerzhavayushchey stali / Kononov P.V., Kovriga V.V., Shmelev A.Yu. // Bezopasnost truda v promyshlennosti, 2007, № 7 (rus).
- [35] Shmelev A.Yu. KASAFLEKS – gibkaya alternativa dlya setey otopeniya // Polimernyye truby, 2008, № 4 (22) (rus).
- [36] Shramm D. Vasilenko A. V semeystve DOWLEX™ PE-RT – popolneniye // Khim-kuryer, 2011, № 13 (332) (rus).
- [37] Ryabov A. Vasilenko A. Perspektivnyy segment DOWLEX™ PE-RT – truby bolshogo diametra // Khim-kuryer, 2012, № 13 (356) (rus).
- [38] Kovriga V.V. PE-RT: Vsemu yest predel // Polimernyye truby, 2012, № 1 (35) (rus).
- [39] Gvozdev I.V. Gorilovskiy M.I. V prodolzheniye diskussii // Polimernyye truby, 2012, № 2 (36) (rus).
- [40] Petrakov G.P. Srok sluzhby plastikovykh trub v penopoliiuretanovoy izolyatsii, primenyayemykh dlya sistem teplosnabzheniya // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal, 2012, № 3 (rus).
- [41] Furtayeva S.V. Opyt primeneniya trub iz polietilena povyshennoy termostoykosti (DOWLEX™ PE-RT tip II) v ZhKKh Sankt-Peterburga // Energonadzor-inform, 2012, № 2 (52) (rus).
- [42] Antonova Ye.Ye. Praktika primeneniya ustroystv dlya kompensatsii teplovykh rasshireniy v truboprovodnykh sistemakh goryachego vodosnabzheniya i otopeniya // Energonadzor-inform, 2012, № 2 (52) (rus).
- [43] Artemyev A.I. Tekhnologiya teploizolyatsii stykovykh soyedineniy truboprovodov v PPU-izolyatsii s primeneniyyem zalivochnykh mashin // Energonadzor-inform, 2012, № 3 (53) (rus).
- [44] Korolev I.A., Petrakov G.P. Sozdaniye ispytatelnogo tsentra dlya proverki kachestva penopoliiuretanovoy izolyatsii predizolirovannykh truboprovodov, primenyayemykh v sistemakh teplosnabzheniya // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal, 2010, № 1 (rus).
- [45] Korolev I.A. Ispytaniya predizolirovannykh trub na tangentsialnyy sdvig // Energonadzor-inform, 2012, № 2 (52) (rus).
- [46] Korolev I.A. Tekhnologicheskyy aspekt obespecheniya kachestva trub v PPU izolyatsii // Energonadzor-inform, 2013, № 2 (56) (rus).

*Петраков Г.П., Слепченко В. С. Экономическая эффективность замены старых теплопроводов в Санкт-Петербурге // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. №7(34). С. 7-31.*

*Petrakov G.P., Slepchonok V.S. The economic efficiency of replacement of old heating pipes in St. Petersburg. Construction of Unique Buildings and Structures, 2015, 7(34), Pp. 7-31. (rus)*