

нологических трубопроводов, а также фитингов и технологического оборудования непосредственно на местах);

– гидрофобен (технология производства изоляции с аэрогелем позволяет всей влаге, которая попадает внутрь теплоизоляционного слоя, испаряться, что обеспечивает не только тепловую изоляцию труб, но и их эффективную защиту от коррозии);

– эффективен при ремонте (применение теплоизоляционных материалов на основе защищает конструкцию от воздействия погодных факторов);

– эстетичен (использование аэрогеля для изоляции придает объектам эстетичный внешний вид, обеспечивая благоприятные рабочие условия).

Теплоизоляционные материалы с аэрогелем используются для защиты элементов, находящихся вблизи высокотемпературных установок, для теплоизоляции трубопроводов, находящихся глубоко под землей, для теплоизоляции резервуаров различных размеров.

Таким образом, мы имеем возможность использовать уникальное вещество с превосходными теплофизическими свойствами для теплоизоляции. Этот материал способен сохранять свои свойства даже при резких перепадах температур и других сложных условиях. Совокупность этих свойств позволяет использовать утеплитель в самых сложных условиях и добиваться превосходного результата, касающегося создания надежной теплоизоляции.

#### Список литературы

1. Аэрогель – материал XXI века [Электронный ресурс]. URL: <http://scientificrussia.ru/partners/sibirskoe-otdelenie-ran/aerogel-material-hhi-veka> (дата обращения: 02.10.2014).
2. Теплофизические свойства (теплопроводность, плотность, температура применения) гибкой теплоизоляции на основе аэрогеля [Электронный ресурс]. URL: [http://thermalinfo.ru/publ/tverdye\\_veshhestva/stroitelnye\\_materialy/teplofizicheskie\\_svoystva\\_teploprovodnost\\_plotnost\\_temperatura\\_primenenija\\_gibkoj\\_teploizoljacji\\_na\\_osnove\\_aehrogelja/6-1-0-363](http://thermalinfo.ru/publ/tverdye_veshhestva/stroitelnye_materialy/teplofizicheskie_svoystva_teploprovodnost_plotnost_temperatura_primenenija_gibkoj_teploizoljacji_na_osnove_aehrogelja/6-1-0-363) (дата обращения: 02.10.2014).
3. Преимущества теплоизоляционных материалов на основе аэрогеля [Электронный ресурс]. URL: <http://www.aerogel-russia.ru/info/preimuschestva-aerogel.html> (дата обращения: 02.10.2014).

УДК 697.34

Коньшев Е. К.  
Тюменский государственный архитектурно-строительный университет  
[Evgeny\\_White@mail.ru](mailto:Evgeny_White@mail.ru)

## **ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ ПО ТИПУ «ТРУБА В ТРУБЕ»**

В статье рассматривается повышение эффективности использования природных ресурсов в области теплоэнергетики и снижение потерь теплоты в трубопроводах путём использования тепловой сети типа «труба в трубе».

В докладе Министерства энергетики Российской Федерации «Политика теплоснабжения» (2013 г.) отмечается: «Реальные потери в тепловых сетях составляют до 20–30 % (за рубежом 6–8 %) и необходимо увеличивать темпы перекладки сетей минимум до 6 % в год от их протяженности».

В данной работе приведено экономическое обоснование теплосети по типу «труба в трубе». Использование данного решения приводит к снижению расхода углеводородного топлива на котельных установках и одновременно происходит снижение тепловых потерь при транспортировке в сравнении с классической тепловой двухтрубной сетью.

Тепловая сеть, функционирующая по типу «труба в трубе», представляет собой тепловую схему, в которой прямая линия с «горячим» теплоносителем поступает к потребителю по внутренней трубе, а обратная по кольцевому сечению и подогревается от прямой линии. Это позволяет получить более высокую температуру в конце обратной линии (см. рисунок).

Прямая линия сети устанавливается во внешней трубе на специальных распорках, имеющих прямоугольную форму со скругленными концами, угол между которыми составляет  $120^\circ$ , что уменьшает гидравлические сопротивления.

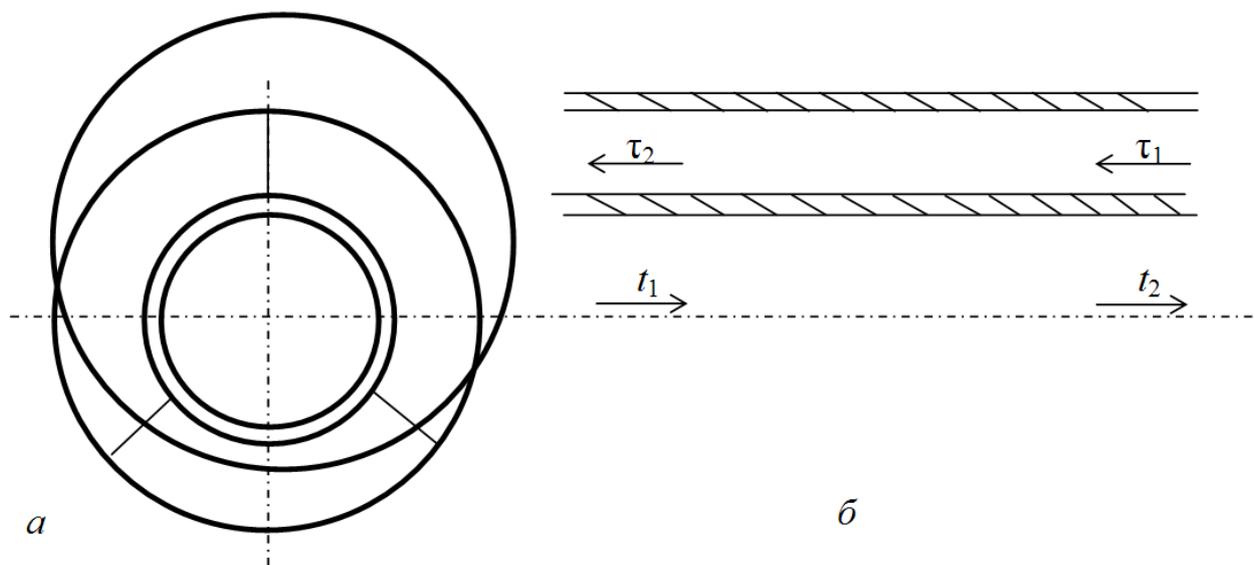


Схема тепловой сети типа труба в трубе:

*a* – поперечное сечение теплотрассы; *б* – сечение вдоль теплотрассы

Параметры сетевой воды для классической схемы тепловой сети принимаем при температуре наружного воздуха  $-20^\circ\text{C}$ , по опытным данным:  $t_1 = 101^\circ\text{C}$ ;  $t_2 = 76^\circ\text{C}$ ;  $\tau_1 = 58^\circ\text{C}$ ;  $\tau_2 = 44^\circ\text{C}$ ;  $\rho = 958$ ;  $\omega = 2$  м/с.

Размеры трубы классической тепловой сети:  $d = 0,63$  м;  $l = 18$  км;  $\delta = 0,008$  м;  $\delta_{\text{из}} = 0,1$  м.

$$t_2 = t_{\text{гр}} + (t_1 - t_{\text{гр}}) \cdot e^{-\frac{kH}{MC_p}}, \quad (1)$$

$$k = \ln \frac{(t_1 - t_{гр})}{(t_2 - t_{гр})} \cdot M \cdot C_p / H = \ln \frac{(101 - 8)}{(76 - 8)} \cdot 541,4 \cdot 4,187 / 33912 = 0,0209 \text{ Вт/м}^2 \text{ } ^\circ\text{С},$$

где  $t_1$  – начальная температура теплоносителя,  $^\circ\text{С}$ ;  $t_2$  – конечная температура теплоносителя,  $^\circ\text{С}$ ;  $t_{гр}$  – температура греющей среды, которую принимаем равной температуре грунта  $8 \text{ } ^\circ\text{С}$ ;  $M$  – массовый расход теплоносителя;  $C_p$  – изобарная теплоемкость теплоносителя, принимается равной  $4,187 \text{ кДж/кг}\cdot^\circ\text{С}$ ;  $H$  – поверхность теплообмена,  $\text{м}^2$ .

Определяем конечную температуру прямой линии теплотрассы типа «труба в трубе» по уравнению Шухова [1], массовые расходы в тепловых сетях принимаем одинаковыми:

$$t_2 = t_{гр} + (t_1 - t_{гр}) \cdot e^{-\frac{kH}{MC_p}} = 70 + (101 - 70) \cdot e^{-\frac{0,020933912}{541,44,187}} = 92 \text{ } ^\circ\text{С},$$

где  $t_{гр}$  – температура грунта, которую мы принимаем равной температуре обратной линии  $70 \text{ } ^\circ\text{С}$ ;  $t_1$  – начальная температура теплоносителя, принимается равной начальной температуре теплоносителя для классической схемы теплосетей,  $^\circ\text{С}$ ;  $k$  – коэффициент теплопередачи принимается равным коэффициенту теплопередачи для классической схемы теплосети,  $\text{Вт/м}^2\cdot^\circ\text{С}$ ;  $H$  – поверхность теплообмена, принимается равной поверхности теплообмена классической схемы тепловой сети: так, по диаметру внутренняя труба тепловой сети типа «труба в трубе» равна трубе классической теплосети,  $\text{м}^2$ ;  $M$  – массовый расход горячей воды;  $C_p$  – теплоемкость теплоносителя при постоянном давлении, принимается равной  $4,187 \text{ кДж/кг}\cdot^\circ\text{С}$ .

Определяем конечную температуру обратной линии тепловой сети типа «труба в трубе» по уравнению теплового баланса, теплоемкости и массовые расходы горячей воды в подающей и обратной линии считаем равными:

$$M_1 \cdot C_{p1}(t_1 - t_2) = M_2 \cdot C_{p2}(\tau_1 - \tau_2), \quad (2)$$

$$\tau_2 = t_2 - t_1 + \tau_1, \quad (3)$$

$$\tau_2 = 92 - 101 + 92 - 16 = 67 \text{ } ^\circ\text{С},$$

где  $\tau_1$  – начальная температура теплоносителя в обратной линии, принимается ниже конечной температуры теплоносителя в прямой линии на  $16 \text{ } ^\circ\text{С}$ .

Основной проблемой тепловых сетей являются тепловые потери в окружающую среду, то есть полезно не использующееся тепло. Причины этого – износ и несовершенство теплоизоляции.

Определим тепловые потери в грунт в подающей линии тепловой сети классической схемы:

$$Q_{гр1} = k\pi D l \frac{(t_1 - t_2)}{\ln\left(\frac{t_1 - t_{гр}}{t_2 - t_{гр}}\right)} = 0,0209 \cdot 3,14 \cdot 0,846 \cdot 18000 \frac{(101 - 76)}{\ln\left(\frac{101 - 8}{76 - 8}\right)} = 80592,96 \text{ кДж}, \quad (4)$$

где  $k$  – коэффициент теплопередачи,  $\text{кДж/кг}\cdot^\circ\text{С}$ ;  $D$  – наружный диаметр трубы с теплоизоляцией,  $\text{м}$ ;  $l$  – длина подающего участка тепловой сети,  $\text{м}$ ;  $t_1$  – начальная температура теплоносителя в подающей линии,  $^\circ\text{С}$ ;  $t_2$  – конечная температура

тура теплоносителя в подающей линии, °С;  $t_{гр}$  – температура грунта, ранее принятая 8 °С, остается.

Определим тепловые потери в грунт в обратной линии тепловой сети классической схемы по формуле [4]:

$$Q_{гр2} = k\pi D l \frac{(\tau_1 - \tau_2)}{\ln\left(\frac{\tau_1 - t_{гр}}{\tau_2 - t_{гр}}\right)} = 0,0209 \cdot 3,14 \cdot 0,846 \cdot 18000 \frac{(58 - 44)}{\ln\left(\frac{58 - 8}{44 - 8}\right)} = 42396,78 \text{ кДж.}$$

Суммарные потери в грунт по всей длине классической тепловой сети:

$$Q_{гр} = Q_{гр1} + Q_{гр2} = 80592,96 + 42396,78 = 122989,74 \text{ кДж.}$$

Определим тепловые потери в грунт для тепловой сети типа «труба в трубе» по формуле [4]:

$$Q_{гр2} = k\pi D l \frac{(\tau_1 - \tau_2)}{\ln\left(\frac{\tau_1 - t_{гр}}{\tau_2 - t_{гр}}\right)} = 0,0209 \cdot 3,14 \cdot 1,46 \cdot 18000 \frac{(76 - 67)}{\ln\left(\frac{76 - 8}{67 - 8}\right)} = 110870,44 \text{ кДж.}$$

Расход газа, необходимого на догрев воды при использовании классической схемы тепловой сети (коэффициент полезного действия котлоагрегата принимаем 95 %):

$$B = \frac{Q}{Q_p^H \cdot \eta} = \frac{124676,3}{35176 \cdot 0,95} = 3,73 \text{ м}^3 / \text{с}, \quad (5)$$

где  $Q$  – количество теплоты, необходимое на догрев топлива в котельной, кДж;  $Q_p^H$  – низшая рабочая теплота сгорания используемого газа, кДж/м<sup>3</sup>;  $\eta$  – коэффициент полезного действия котлоагрегата.

Расхода газа, необходимого на догрев воды при использовании тепловой сети типа «труба в трубе», определяется по формуле [5]:

$$B = \frac{Q}{Q_p^H \cdot \eta} = \frac{74805,8}{35176 \cdot 0,95} = 2,23 \text{ м}^3 / \text{с.}$$

Определим разницу годового расхода денежных средств на топливо:

$$\Delta B_{\delta} = (B_{год1} - B_{год2}) \cdot 4,241 = (68321664 - 40846464) \cdot 4,241 = 116\,522\,323,2 \text{ руб./год}, \quad (6)$$

где  $B_{год1}$  – годовой расход газа при использовании классической тепловой схемы, м<sup>3</sup>/год;  $B_{год2}$  – годовой расход газа при использовании тепловой схемы типа «труба в трубе», м<sup>3</sup>/год; 4,241 – стоимость 1 м<sup>3</sup> газа, руб.

Определим денежную разницу тепловых потерь в окружающую среду:

$$\Delta Q_{д} = (Q_{гр1} - Q_{гр2}) \cdot 1029,8 = (122989,74 - 110870,44) \cdot 1029,8 \cdot 2,39 = 29828287,75 \text{ руб.}, \quad (7)$$

где  $Q_{гр1}$  – тепловые потери в окружающую среду классической тепловой сети, кДж;  $Q_{гр2}$  – тепловые потери в окружающую среду тепловой сети типа «труба в трубе», кДж; 2,39 – переводной коэффициент.

По результатам проведенных расчётов экономической эффективности использования предлагаемой схемы оказывается, что применение данной тепловой сети приводит к уменьшению расхода газа на 67 % и к годовой экономии

денежных средств в размере 116,5 млн руб., кроме того, в этом случае уменьшаются теплопотери на 10 % за один циркуляционный цикл горячей воды, что дополнительно приводит к экономии 29,8 млн руб.. Вместе с тем оказывается, что конструкция предлагаемой схемы сложнее из-за применения распорок, на которых фиксируется подающая линия сети и возрастает перепад давления, что приводит к увеличению мощности на 23 % и расходу электроэнергии (542 тыс. руб.).

Вместе с тем данная схема приводит к увеличению затрат вследствие разной цены применяемых труб обратных линий (для новой схемы используется труба большего диаметра, и это приводит к дополнительным расходам металла на подпорки в размере 3,82 м<sup>3</sup>, что приводит к увеличению расходов на 221 млн руб. и стоимости прокладки на 8 млн руб.).

Однако в результате снижения потребления газа и уменьшения тепловых потерь окупаемость тепловой сети, функционирующей по принципу «труба в трубе», составляет менее двух лет и оказывается рентабельной.

#### Список литературы

1. Лебедев П. Д. Теплообменные, сушильные и холодильные установки. М. : Энергия, 1972. 250 с.
2. Кириллин В. А., Сычев В. В., Шейндлин А. Е. Техническая термодинамика. М. : Энергоиздат, 1983. 195 с.
3. Теплотехника : учебник для вузов / под ред. В. Н. Луканина. М. : Высшая школа, 1999. 197 с.
4. СНиП 2.04.07–86. Тепловые сети. М. : Госстрой, 2001. 48 с.
5. Коньшев Е. К. Оценка эффективности теплотрассы типа «труба в трубе» по сравнению с классической теплотрассой // Сб. материалов Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 20-22 апреля 2013 г. Челябинск, 2013.

УДК 620.9

Кордюкова Л. С., Бакрунова Т. С.  
Самарский государственный технический университет  
kordl150494@mail.ru

## ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ КАК ОСНОВА ЭФФЕКТИВНОЙ ЭКОНОМИКИ СТРАНЫ

Среди важнейших проблем, поставленных наукой и практикой, особое место занимает проблема энергосбережения. Энергосбережение в экономике России поднято на уровень государственной политики. Главные направления и важнейшие мероприятия по развитию топливно-энергетического комплекса страны и повышению эффективности энергоиспользования отражены в законе Российской Федерации «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...», подписанным Д.А. Медведевым в ноябре 2009 года [1].

Согласно закону, *энергосбережение* – это реализация организационных, правовых, технических, технологических, экономических и иных мер, направ-