

13. Российский статистический ежегодник. 2011: Стат. сб./ Росстат. – М., 2011. – 795 с.
14. Российский статистический ежегодник. 2012: Стат. сб./ Росстат. – М., 2012. – 786 с.
15. Российский статистический ежегодник. 2013: Стат. сб./ Росстат. – М., 2013. – 717 с.
16. Российский статистический ежегодник. 2014: Стат. сб./ Росстат. – М., 2014. – 693 с.
17. Российский статистический ежегодник. 2015: Стат. сб./ Росстат. – М., 2015. – 728 с.
18. Российский статистический ежегодник. 2016: Стат. сб./ Росстат. – М., 2016. – 725 с.
19. Кайбичев И.А., Калимуллина К.И. Корреляционный анализ количества пожаров и основных показателей социально-экономического развития Российской Федерации за 2001-2015 годы // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XII Международной научно-практической конференции, посвященной Году гражданской обороны, Иваново, 29-30 ноября 2017 г. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2917. – с. 804-808.

МЕТОДЫ УМЕНЬШЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА ПРИ ТРАНСПОРТЕ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Камотина Е.В., Соколов А.В.

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

evb95@mail.ru

Аннотация. Рассматривается проблема потери тепловой энергии при транспортировке теплоносителя от теплового источника до потребителей. В качестве исследовательской задачи авторами была определена попытка оценить уменьшение величины плотности теплового потока с использованием инновационных высокоэффективных жидких теплоизоляционных материалов. В работе изложена методика расчета тепловых потерь в подземной канальной

прокладке трубопровода с применением тепловой изоляции. Получены расчеты тепловых потерь с использованием различных видов изоляции.

Ключевые слова: тепловые сети; канальная прокладка трубопроводов; тепловые потери; теплопроводность; энергоэффективность; жидкий керамический теплоизоляционный материал.

METHODS OF REDUCE THE THERMAL LOSS IN THE TRANSPORT OF THE HEAT CARRIER

Kamotina E., Sokolov A.

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Abstract. The problem of loss of thermal energy was widely known. As a research task authors have defined attempt to estimate reduction of value of density of a thermal current with use of innovative highly effective fluid ceramic insulating materials. In work the method of calculation of thermal losses in underground channel laying of the pipeline with application of thermal isolation is proposed.

Key words: thermal networks; channel laying of pipelines; thermal losses; heat conductivity; energy efficiency; fluid ceramic insulating material

Проблемы, связанные с потерями тепла при его передаче по теплопроводам, остаются актуальными на сегодняшний день. По оценкам энергетического концерна Dalkia, средние потери в российских тепловых сетях колеблются от 22 до 35% [1]. Увеличение тепловых потерь оказывает серьезное влияние в процессе формирования тарифа на тепловую энергию и является одним из показателей энергетической эффективности эксплуатации тепловых сетей.

Одним из важных направлений по повышению эффективности теплоснабжения является снижение тепловых потерь в сетях, которое реализуется заменой выработавших свой ресурс трубопроводов на новые, изоляция которых проектируется в соответствии с более жесткими современными нормами на тепловые потери [2].

На Российском рынке в настоящее время представлены жидкие керамические теплоизоляционные материалы, которые находят своего потребителя, благодаря широкой области применения и простоте использования. Рассмотрим некоторые из них.

Теплоизоляция «Изоллат» – это жидкий теплоизоляционный материал, образующий полимерное покрытие, которое устойчиво к повреждениям и

обеспечивает значительное снижение теплопроводности. Полимерный материал насыщается полыми керамическими микросферами, внутри которых состояние максимально приближенное к вакууму – разряженный воздух. Расчетная теплопроводность данного материал колеблется от 0,002 до 0,007 Вт/м·°С.

Сверхтонкий жидкий теплоизолятор «Броня» состоит из высококачественного акрилового связующего, керамических сверхтонкостенных микросфер с разряженным воздухом. Помимо основного состава в материал вводятся специальные добавки, которые исключают появление коррозии на поверхности металла. Теплопроводность данного материала составляет 0,0012 Вт/м·°С.

Рассмотрим методику расчета теплотерь при подземной прокладке двух трубопроводов в канале с применением теплоизоляции ППУ, жидкой керамической изоляции и с теплоизоляционной вставкой из «Пенополистирола» в стенках бетонного канала (рис. 1).

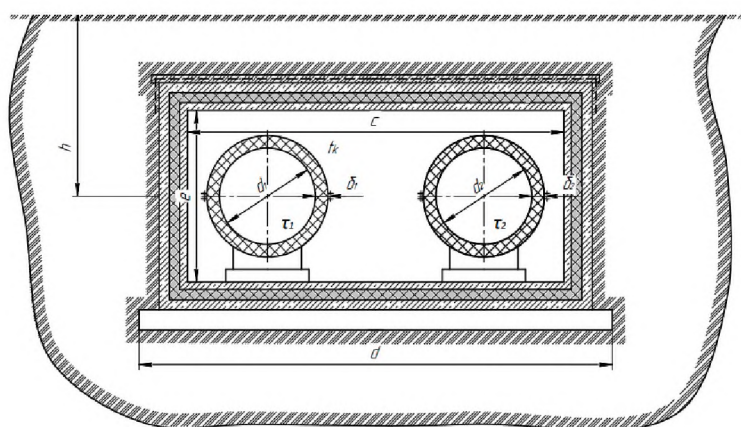


Рисунок 1- Подземная канальная прокладка трубопроводов

Запишем уравнение теплового баланса:

$$\frac{\tau_1 - t_k}{R_{u1} + R_{\alpha 1}} + \frac{\tau_2 - t_k}{R_{u2} + R_{\alpha 2}} = \frac{t_k - t_0}{R_{ок} + R_k + R_{вст} + R_k + R_{сп}} \quad (1)$$

Находим температуру воздуха в канале, выразив из уравнения (1).

После нахождения t_k можно определить плотность теплового потока каждого трубопровода:

$$q_1 = \frac{\tau_1 - t_k}{R_{u1} + R_{\alpha 1}} \quad \text{и} \quad q_2 = \frac{\tau_2 - t_k}{R_{u2} + R_{\alpha 2}} \quad (3)$$

Расчет термических сопротивлений:

1) $R_{u1} = \frac{1}{2\pi\lambda_{u1}} \ln \frac{d_{u1}}{d_1}$ – сопротивление изоляционной конструкции

подающей трубы, где $d_{u1} = d_1 + 2\delta_{u1}$,

$$2) R_{\alpha 1} = \frac{1}{\pi d_{u1} \alpha_1} - \text{сопротивление теплоотдачи от поверхности изоляции к}$$

воздуху в канале;

Коэффициенты теплоотдачи можно рассчитать по артериальному уравнению для средних коэффициентов теплоотдачи при свободном движении около горизонтальных труб, предложенному Н.М. Михеевой.

$$\overline{Nu}_{ж.д} = (Gr_{ж.д} Pr_{ж})^{0.25} \cdot \left(\frac{Pr_{ж}}{Pr_e}\right)^{0.25}, \quad (4)$$

$$Gr_{ж.д} = \frac{g\beta(t_c - t_k)d_n^3}{\nu_{ж}}, \quad (5)$$

$$\overline{Nu}_{ж.д} = \frac{\alpha \cdot d_n}{\lambda_в} \Rightarrow \alpha = \frac{\overline{Nu}_{ж.д} \cdot \lambda_в}{d_n}. \quad (6)$$

Из полученных расчетов: $\alpha_1 \approx \alpha_2 \approx \alpha_k \approx 2,12 - 2,20 \frac{Вт}{м^2 \cdot C}$.

$$3) R_{\alpha 2} = \frac{1}{\pi d_{u2} \alpha_2};$$

$$4) R_{u2} = \frac{1}{2\pi\lambda_{u2}} \ln \frac{d_{u2}}{d_2}, \text{ где } d_{u2} = d_2 + 2\delta_{u2};$$

$$5) R_{\alpha k} = \frac{1}{\pi d_{\text{эк1}} \alpha_k} - \text{сопротивление от воздуха к стенкам канала, где}$$

$d_{\text{эк1}}$ - эквивалентный диаметр канала;

Эквивалентный диаметр используется при расчете трубопроводов нецилиндрической формы и соответствует диаметру круглого трубопровода, создающего аналогичные потери на трение при одинаковой их длине.

В общем случае для расчета применяется следующая формула:

$$d_{\text{эк1}} = \frac{4F_k}{u}, \quad (7)$$

где F_k - сечение канала, $F_k = c \cdot e$; u - смоченный периметр, $u = 2(c + e)$.

$$6) R_k = \frac{1}{2\pi\lambda_k} \ln \frac{d_{\text{э2}}}{d_{\text{э1}}} - \text{тепловое сопротивление теплопроводности}$$

бетонных стенок канала. Расчет ведем по формулам для цилиндрической стенки.

$$d_{\text{эк2}} = \frac{4ab}{2(a+b)} = \frac{2ab}{a+b}, \quad (8)$$

$$7) R_{вст} = \frac{1}{2\pi\lambda_{вст}} \ln \frac{d_{э2}}{d_{э1}}$$

$$8) R_{зр} = \frac{1}{2\pi\lambda_{зр}} \ln \left[2 \frac{h}{d_{э2}} + \sqrt{\frac{4h^2}{d_{э2}^2} - 1} \right] - \text{термическое сопротивление грунта}$$

(формула Форхгеймера), где h - глубина заложения оси канала (трубопроводов), $h = 950$ мм.

Расчет приведен при среднегодовой температуре грунта в месте заложения трубопровода 5°C ($t_{зр} = t_0 = 5^\circ\text{C}$).

Для расчета диаметры стального трубопровода были предоставлены СТС (Свердловские тепловые сети):

$$d_{ст}^{вн} = 514 \text{ мм}; \quad \delta_{ст} = 8 \text{ мм}; \quad d_{ст}^{нар} = 530 \text{ мм}.$$

Коэффициенты теплопроводности:

$$\lambda_{ст.тр.} = 16 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}; \quad \lambda_{пму} = 0,036 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}; \quad \lambda_{изоллат} = 0,025 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}; \quad \lambda_{броня} = 0,0012 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}};$$

$$\lambda_{вст} = 0,038 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}; \quad \lambda_k = \lambda_{зр} = 1,6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}.$$

Данные по теплопроводности теплоизоляционного материала «Изоллат» очень противоречивы из разных источников. В работе мы опирались на практические результаты, полученные в Лаборатории «Испытаний тепловой изоляции» кафедры ПТЭ и ТТ УрФУ.

Низкий коэффициент теплопроводности материала «Броня», который мы учитываем в своей работе, в подтверждение этого имеет патент на изобретение, методику и протоколы испытаний.

Размеры канала:

$$c = 2000 \text{ мм}; \quad e = 900 \text{ мм}; \quad a = 2160 \text{ мм}; \quad b = 1060 \text{ мм}; \quad \delta_{ст} = 80 \text{ мм};$$

Данные расчета вариантов уменьшения теплопотерь сведены в таблицу 1.

Таблица 1 - Расчет вариантов уменьшения тепловых потерь

	Тепловые потери			Температура воздуха в канале
	q ₁	q ₂	q ₁ +q ₂	t _к
Исходный (только ППУ)	82,4 80,5*	22,7 20,9*	105,1 101,4*	27,1 28,9*
Изменение толщины изоляции ППУ на трубопроводах (δ _{из} =5... 50 мм)	106,6... 82 103,8... 75,1*	24,1... 22,7 21,3... 20,9*	130,7... 99,9 125,1... 95,9*	32,4... 27,1 34,5... 28,9*

Нанесение краски «Изоллат/«Броня» на сталь прямого трубопровода с сохранением ППУ на обоих трубопроводах ($\delta_{из}=5...50$ мм)	99,5...78,7 37,2...34,2 100,8...78,8* 36,6...33,7*	26,0...24,6 40,9...31,5 23,1...21,7* 38,8...30,2*	126,5...102,3 78,2...65,8 124,0...100,6* 75,5...63,9*	30,6...26,0 21,1...18,5 33,6...28,3* 22,5...19,9*
Нанесение краски «Изоллат/«Броня» на сталь обратного трубопровода с сохранением ППУ на обоих трубопроводах ($\delta_{из}=5...50$ мм)	106,0...83,5 109,2...85,7 105,8...83,4* 109,1...85,7*	20,3...21,4 7,7...9,5 21,0...22,2* 7,3...6,1*	126,3...105,9 116,9...95,3 126,2...105,7* 116,4...94,8*	33,8...26,7 31,5...24,6 33,8...26,7* 31,5...24,6*
Нанесение краски «Изоллат/«Броня» на сталь обоих трубопроводов с сохранением ППУ ($\delta_{из}=1...10$ мм)	83,3...71,9 83,2...19,3 81,3...70,4* 81,4...19,2*	23,1...21,7 23,1...7,6 21,2...20,1* 21,2...7,5*	106,4...93,7 106,4...27,0 102,6...90,5* 102,6...26,7*	26,9...24,3 26,9...10,6 28,8...26,0* 28,8...10,4*

Примечание: * с использованием вставки в канал из «Пенополистирола»

Применение жидкого керамического материала для изоляции трубопроводов прямой и обратной сетевой воды считаем необходимым и целесообразным с экономической точки зрения. Также не менее важный вклад в уменьшение тепловых потерь внесло использование теплоизоляции в стенках канала.

Для обеспечения надежности и экономичности эксплуатации тепловых сетей требуется грамотное и эффективное с технической точки зрения управление имеющимися ресурсами.

В итоге основным направлением снижения плотности теплового потока в тепловых сетях является замена выработавших свой ресурс трубопроводов совместно с тепловой изоляцией.

Список литературы

1. Ильин, Р.А. Оценка тепловых потерь в тепловых сетях при применении жидкокристаллической теплоизоляции / Р.А. Ильин // Теплоэнергетика. – 2015. – №7.
2. Байбаков, С.А., Филатов, К.Ф. Оптимизация толщин тепловой изоляции при проектировании теплопроводов тепловых сетей / С.А. Байбаков, К.Ф. Филатов // Новости теплоснабжения. – 2013. – №2.

ПОВЫШЕНИЕ ВИБРАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ЦЕНТРО-БЕЖНЫХ НАГНЕТАТЕЛЕЙ С МАГНИТНЫМ ПОДВЕСОМ РОТОРОВ

Кузнецова Ю.А., Машечкин Н.В., Кистойчев А.В.

Уральский федеральный университет г. Екатеринбург, Россия
juliyayo@mail.ru, kolyamashechkin@yandex.ru, kistoychev@gmail.com

Аннотация. Представлены результаты работ, выполняемых на кафедре «Турбины и двигатели», направленных на повышение качества проектирования, обслуживания и ремонта центробежных нагнетателей природного газа, оснащенных магнитным подвесом роторов.

Ключевые слова: магнитный подвес, устойчивость ротора, циркуляционные силы, динамика роторной системы, гибкий ротор, вибрационная надежность.

INCREASE OF VIBRATION RELIABILITY OF CENTRIFUGAL COMPRESSOR WITH MAGNETIC BEARING OF ROTORS

Kuznetsova J., N. Mashechkin, Kistoichev A.

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Abstract. The results of the work carried out at the Department "Turbines and engines" aimed at improving the quality of design, maintenance and repair of centrifugal natural gas superchargers equipped with magnetic suspension of rotors are presented.