

К РАСЧЕТУ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ТРУБ «ИЗОПРОФЛЕКС А»

Игорь Гвоздев, Владимир Швабауэр, Мирон Горюловский

Выбор характеристик тепловой изоляции труб, используемых для строительства тепловых сетей, имеет большое значение для оценки эффективности трубопровода. Увеличение толщины слоя теплоизоляции, с одной стороны, ведет к снижению тепловых потерь, а с другой – к существенному увеличению затрат на строительство. Для гибких труб «Изопрофлекс А» неоправданное увеличение толщины теплоизоляции ведет также к усложнению процессов транспортировки и монтажа. Очевидно, что главным критерием выбора толщины тепловой изоляции должно быть соответствие действующим нормативам, устанавливающим допустимую величину тепловых потерь с поверхности трубопровода.

Линейная плотность теплового потока через цилиндрическую теплоизолированную конструкцию (тепловые потери) q Вт/м, определяются [1] по уравнению:

$$q = \frac{t_b - t_n}{R_{вн} + R_{c1} + R_{из} + R_{c2} + R_n}$$

где: в числителе – разность между температурой среды внутри изолируемого оборудования и температурой охлаждающей среды (температурный напор), °С; в знаменателе – сумма линейных термических сопротивлений всех слоев многослойной конструкции теплопровода, а также теплоотдача от транспортируемой среды к внутренней поверхности и теплоотдача от наружной поверхности в окружающую среду, м·град/Вт.

Величина:

$$K = \frac{1}{R_{вн} + R_{c1} + R_{из} + R_{c2} + R_n}$$

является линейным (на единицу длины трубопровода) коэффициентом теплопередачи K [Вт/м/град], и после ее определения тепловые потери определяются очевидным уравнением:

$$q = K (t_b - t_n)$$

Для расчета отдельных составляющих суммы термических сопротивлений используются [1] следующие уравнения:

– линейное термическое сопротивление теплоотдаче от транспортируемой среды к внутренней стенке трубы, м·град/Вт:

$$R_{вн} = \frac{1}{\pi d_1 \alpha_{вн}}$$

Термическое сопротивление теплоотдаче от внутренней среды к внутренней поверхности трубы для жидких и даже газообразных сред по сравнению с термическим сопротивлением кондуктивному переносу тепла в изоляции составляет весьма малую величину и может не учитываться [1].

– линейное термическое сопротивление стенки внутренней трубы, м·град/Вт:

$$R_{c1} = \frac{1}{2 \pi \lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1}$$

– линейное термическое сопротивление изоляции, м град/Вт:

$$R_{из} = \frac{1}{2 \pi \lambda_{из}} \ln \frac{d_3}{d_2}$$

– линейное термическое сопротивление стенки внешней оболочки, м·град/Вт:

$$R_{c2} = \frac{1}{2 \pi \lambda_2} \ln \frac{d_4}{d_3}$$

R_n – линейное термическое сопротивление теплоотдаче во внешнюю среду. Именно этой составляющей (R_n) величина K несколько отличается при различных способах прокладки трубопровода.

Для трубопровода, проложенного на открытом воздухе и в канале:

$$R_n = \frac{1}{\pi d_4 \alpha_n}$$

где различие между каналом и открытым воздухом определяется отличающейся величиной коэффициента теплоотдачи α_n .

Для трубопровода, проложенного в грунте на глубине H до оси трубопровода, линейное термическое сопротивление полуограниченного массива грунта рассчитывается по формуле:

$$R_n = \frac{1}{2 \pi \lambda_r} \ln \left\{ \frac{2H}{d_4} + \left[\left(\frac{2H}{d_4} \right)^2 - 1 \right]^{0.5} \right\}, \text{ м·град/Вт}$$

Пример расчета:

Труба из сшитого полиэтилена ($\lambda_1 = 0,35$ Вт/м/°С) внутренним диаметром $d_1 = 131$ мм и наружным диаметром $d_2 = 144$ мм покрыта слоем изоляции ППУ ($\lambda_{из} = 0,032$ Вт/м/°С). Толщина

изоляции 22,5 мм, что означает $d_3 = 189,5$ мм. Поверх изоляции положен защитный слой толщиной 2,2 мм ($d_4 = 194$ мм) из полиэтилена низкой плотности ($\lambda_2 = 0,43$ Вт/м $^{\circ}$ С). Труба может быть проложена на открытом воздухе при умеренной ветровой нагрузке ($\alpha_n = 26$ Вт/м 2 / $^{\circ}$ С [1]), либо в непроходном канале ($\alpha_n = 10$ Вт/м 2 / $^{\circ}$ С [1]), либо в грунте ($\lambda_r = 0,8$ Вт/м $^{\circ}$ С [1]) на глубине 0,7 м ($H = 0,7+0,1 = 0,8$ м).

В результате расчета по приведенным выше уравнениям получаем:

$$R_{c1} = 0,0430 \text{ м-град/Вт}$$

$$R_{мз} = 1,3663 \text{ м-град/Вт}$$

$$R_{c2} = 0,0085 \text{ м-град/Вт}$$

Таким образом, собственное линейное термическое сопротивление теплоизолированного трубопровода равно:

$$R_{тр} = 1,4178 \text{ м-град/Вт}$$

Для трех условий прокладки трубопровода имеем дополнительные значения линейных термических сопротивлений:

Наружная прокладка на воздухе

$$R_n = 0,0598 \text{ м-град/Вт},$$

$$\Sigma R = 0,0598 + 1,4178 = 1,4776 \text{ м-град/Вт},$$

$$\text{тогда } K = 1/1,4776 = 0,6752 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{С}$$

Канальная прокладка

$$R_k = 0,1642 \text{ м-град/Вт},$$

$$\Sigma R = 0,1642 + 1,4178 = 1,582 \text{ м-град/Вт},$$

$$\text{тогда } K = 1/1,582 = 0,6321 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{С}$$

Подземная прокладка

$$R_n = 0,5572 \text{ м-град/Вт}$$

$$\Sigma R = 0,5572 + 1,4178 = 1,975 \text{ м-град/Вт}$$

$$\text{тогда } K = 1/1,975 = 0,5063 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{С}$$

В Таблице 1 приведены значения линейного (на единицу длины трубопровода) коэффициента теплопередачи K [Вт/м $^{\circ}$ С], рассчитанного по приведенной выше схеме, для труб новой конструкции типа АМТ, изготавливаемых по ТУ 2248-021-40270293-2005 с Изм. №1 «Трубы «Изопрофлекс» и «Изопрофлекс А» из сшитого полиэтилена с тепловой изоляцией из пенополиуретана в гофрированной полиэтиленовой оболочке».

Как видно из таблицы, наибольшие значения коэффициента соответствуют прокладке трубопровода на открытом воздухе, наименьшие – прокладке в грунте. Усиление изоляции также существенно снижает значение коэффициента теплопередачи и, соответственно, потери тепла.

Представленные в табл. 1 значения K позволяют рассчитать потери тепла в любой конкретной ситуации прокладки трубопровода и режима его работы. **Именно эти данные в первую очередь необходимы потребителю, которому для получения плотности теплового потока достаточно умножить эту величину на температурный напор, зависящий от климатических особенностей конкретного региона. Для расчета потерь тепла трубопровода плотность теплового потока умножается на его длину.**

Полученные данные позволяют сопоставить удельные тепловые потери с нормами плотности теплового потока, установленными в СНиП 41-03-2003.

Таблица 1

Типоразмер труб	Коэффициент теплопередачи, Вт/м $^{\circ}$ С, для способа прокладки		
	На воздухе	В канале	В грунте
50/90	0,3108	0,2914	0,2638
50/100	0,2671	0,2540	0,2320
63/100	0,3676	0,3432	0,3043
63/110	0,3129	0,2965	0,2663
75/110	0,4279	0,3980	0,3454
75/125	0,3431	0,3256	0,2889
90/125	0,4282	0,4030	0,3478
90/145	0,3645	0,3475	0,3055
110/145	0,6023	0,5558	0,4557
110/160	0,4414	0,4186	0,3590
140/180	0,5887	0,5529	0,4537
140/200	0,4723	0,4508	0,3830
160/200	0,6752	0,6321	0,5063
160/225	0,4786	0,4589	0,3896

СНиП 41-03-2003 предписывает следующую процедуру определения температурного напора, действующего в тепловых сетях:

За **расчетную температуру окружающей среды** принимают:

– для подземной прокладки в каналах или бесканальной – **среднюю за год температуру грунта на глубине заложения**. Если величина заглубления верхней части перекрытия канала или верха теплоизоляции трубопровода (при прокладке в грунте) составляет 0,7 м и менее, за расчетную температуру окружающей среды должна приниматься та же **температура наружного воздуха**, что и при надземной прокладке.

– для трубопроводов горячего водоснабжения при круглогодичной работе – **среднюю за год**;

– для трубопроводов тепловых сетей, работающих только в отопительный период, – **среднюю за период со среднесуточной температурой наружного воздуха ниже 8 $^{\circ}$ С (отопительный сезон)**.

СНиП 23-01-99 [2] для Московского региона дает следующие данные:

- среднегодовая температура – **плюс 4,1 $^{\circ}$ С**
- средняя за отопительный сезон – **минус 3,1 $^{\circ}$ С**
- средняя температура грунта на глубине больше 0,7 м – **плюс 7 $^{\circ}$ С** [3];

За **расчетную температуру теплоносителя** водяных тепловых сетей в соответствии с п.6.1.6 СНиП 41-03-2003 принимают:

- для подающего трубопровода при переменной температуре сетевой воды и качественном регулировании – **65 $^{\circ}$ С**;
- для обратных трубопроводов водяных тепловых сетей – **50 $^{\circ}$ С**.

Рассчитанные на основе вышеприведенных данных величины тепловых потерь для подающего трубопровода в регионе Москвы и для регионов, расположенных западнее и южнее Москвы, приведены в табл. 2

Таблица 2

Типоразмер трубы	Прокладка	Температурный напор, °С		
		65 – 7 = 55°С 7°С – на глубине заложения более 0,7 м	65 – 4,1 = 60,9°С 4,1°С среднегодовая	65 – (-3,1) = 68,1°С -3,1°С средняя для отопительного сезона
		Тепловые потери q, Вт/м		
		Для глубины заложения больше 0,7 м	Для глубины заложения 0,7 м и менее в каналах и грунте и при наружной прокладке	
50/90	Наружная		18,93	21,16
	Канальная	16,90	17,74	19,84
	Грунт	15,30	16,06	17,96
50/100	Наружная		16,27	18,19
	Канальная	14,73	15,46	17,29
	Грунт	13,45	14,13	15,80
63/100	Наружная		22,38	25,03
	Канальная	19,90	20,90	23,37
	Грунт	17,65	18,53	20,72
63/110	Наружная		19,05	21,30
	Канальная	17,19	18,05	20,19
	Грунт	15,44	16,22	18,13
75/110	Наружная		26,06	29,14
	Канальная	23,08	24,23	27,10
	Грунт	20,03	21,03	23,52
75/125	Наружная		20,89	23,37
	Канальная	18,88	19,83	22,17
	Грунт	16,75	17,59	19,67
90/125	Наружная		26,07	29,15
	Канальная	23,37	24,54	27,44
	Грунт	20,17	21,18	23,68
90/145	Наружная		22,20	24,82
	Канальная	20,15	21,16	23,66
	Грунт	17,72	18,60	20,80
110/145	Наружная		36,68	41,02
	Канальная	32,23	33,84	37,85
	Грунт	26,43	27,75	31,03
110/160	Наружная		26,88	30,06
	Канальная	24,28	25,49	28,51
	Грунт	20,82	21,86	24,45
140/180	Наружная		35,85	40,09
	Канальная	32,07	33,67	37,65
	Грунт	26,31	27,63	30,90
140/200	Наружная		28,77	32,17
	Канальная	26,15	27,45	30,70
	Грунт	22,21	23,32	26,08
160/200	Наружная		41,12	45,98
	Канальная	36,66	38,49	43,04
	Грунт	29,36	30,83	34,48
160/225	Наружная		29,14	32,59
	Канальная	26,62	27,94	31,25
	Грунт	22,60	23,73	26,53

Используя данные таблицы 2, можно провести сравнение рассчитанных тепловых потерь с нормами теплового потока, предписанными в СНиП 41-03-2003.

Нормы плотности теплового потока для трубопроводов двухтрубных водяных сетей установлены в табл. 8 и 9 СНиП 41-03-2003 (для подземной канальной прокладки) и в табл. 11 и 12 (для подземной бесканальной прокладки). Первые таблицы в обоих случаях устанавливают нормы для

трубопроводов, работающих более 5000 часов в году, вторые таблицы – для трубопроводов, работающих менее 5000 часов в году. В соответствии с пунктом 6.1.6 и таблицей 15 расчетная температура теплоносителя при переменной температуре сетевой воды (для температурного режима 95/70°С) в подающем трубопроводе принимается равной 65°С, в обратном трубопроводе – 50°С. Для двух труб одинакового проходного сечения суммарные тепловые потери

в системе 65/50 равны 1,77 q (величины из таблицы 2), и будут меньше, если отводящая труба имеет меньший диаметр. В табл. 3 приведено сравнение тепловых потерь и норм

плотности теплового потока для двухтрубных водяных сетей при различных способах прокладки и режимах эксплуатации, удовлетворяющих требованиям СНиП 41-03-2003.

Таблица 3

Типоразмер труб	Суммарные тепловые потери двухтрубных сетей при равных диаметрах подающих и обратных трубопроводов для условий прокладки и эксплуатации				Нормы плотности теплового потока, Вт/м	
	Бесканальная на глубине >0,7 м. Для среднегодовой температуры грунта 7°C	Канальная на глубине >0,7 м. Для среднегодовой температуры грунта 7°C	Бесканальная на глубине < 0,7 м. Для среднегодовой температуры 4,1°C	Бесканальная на глубине < 0,7 м. Для среднегодовой температуры минус 3,1°C	Бесканальная. Для времени работы, час > 5000/<5000	Канальная. Для времени работы, час >5000/<5000
50/90	27,1	29,9	28,4	31,8	31/35	22/25
50/100	23,8	26,1	25,0	28,0	31/35	22/25
63/100	31,2	35,2	32,8	36,7	35/40	25/29
63/110	27,3	30,4	28,7	32,1	35/40	25/39
75/110	35,5	40,9	37,2	41,6	38/43	27/31
75/125	29,7	33,4	31,1	34,8	38/43	27/31
90/125	35,7	41,4	37,5	41,9	43/48	30/34
90/145	31,4	35,7	32,9	36,8	43/48	30/34
110/145	46,8	57,1	49,1	54,9	54/57	32/37
110/160	36,9	43,0	38,7	43,3	54/58	32/37
140/180	46,6	56,8	48,9	54,7	53/61	37/42
140/200	39,3	46,3	41,3	46,2	53/61	37/42
160/200	52,0	64,9	54,6	61,0	58/67	40/45
160/225	40,0	47,1	42,0	47,0	58/67	40/45

Изложенные методы расчета могут быть использованы и для других областей применения труб, транспортирующих среды с повышенной температурой. Так, например, в СНиП 41-03-2003 указано: «При проектировании тепловой изоляции для технологических трубопроводов, прокладываемых в каналах и бесканально, нормы плотности теплового потока следует принимать как для трубопроводов, прокладываемых на открытом воздухе (Табл. 2 и 3)».

Для 65°C эти нормы составляют (в знаменателе – для трубопровода, работающего менее 5000 час/год):

- для трубы 50: $q_n = 15,4 / 17,6$
- для трубы 63: $q_n = 17,6 / 20$
- для трубы 75: $q_n = 19,9 / 22,5$
- для трубы 90: $q_n = 21,2 / 24,8$
- для трубы 110: $q_n = 23,5 / 27,8$
- для трубы 140: $q_n = 26,1 / 30,7$
- для трубы 160: $q_n = 28,7 / 33,3$

Сравнение этих норм с данными табл. 2, показывает, что для глубины заложения 0,7 м в каналах и в грунте для однострунных трубопроводов могут быть использованы трубы с обычной изоляцией за исключением трубы 160, где необходимо использовать усиленную изоляцию.

Выводы:

1. Для **бесканальной** прокладки труб на глубине **больше 0,7 м** могут применяться все трубы с нормальной и уси-

ленной теплоизоляцией, предназначенные **как для горячего водоснабжения, так и для теплоснабжения.**

2. Для **бесканальной** прокладки труб на глубине **меньше 0,7 м** могут применяться все трубы в случае применения их **для горячего водоснабжения** в силу меньших теплопотерь за счет более высокой среднегодовой температуры (+4,1°C для Московского региона).
3. Для **бесканальной** прокладки труб для теплоснабжения на глубине **меньше 0,7 м** должны применяться трубы с усиленной теплоизоляцией.
4. **Канальная** прокладка труб с усиленной теплоизоляцией для теплоснабжения при глубине заложения **более 0,7 м** должна рассматриваться в каждом отдельном случае с расчетом норм плотности теплового потока.
5. Изложенная методика расчета может быть использована для различных типов трубопроводов, транспортирующих среды с повышенной температурой.

Литература

1. СНиП 41-03-2003 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов»
2. СНиП 23-01-99 «Строительная климатология»
3. Справочник по климату СССР. Вып. 8, часть 7. Тверская, Московская, Ярославская, Владимирская, Смоленская, Калужская, Тульская, Рязанская области. М.: Гидрометеоиздат, 1964.