

Министерство Регионального развития Российской Федерации

Свод правил

СП 61.13330.2012

Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов

Designing of thermal insulation of equipment and pipe lines

Актуализированная редакция СНиП 41-03-2003

Москва

2012

Дата введения 2013-01-01

ОКС 91.120.10

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ "О техническом регулировании", а правила разработки - постановлением Правительства Российской Федерации от 19 ноября 2008 г. № 858 "О порядке разработки и утверждения сводов правил".

Сведения о своде правил

1 Исполнитель - Московский государственный строительный университет (МГСУ) и группа специалистов

2 Внесен Техническим комитетом по стандартизации ТК 465 "Строительство"

3 Подготовлен к утверждению Департаментом архитектуры, строительства и градостроительной политики

4 Утвержден приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 27 декабря 2011 г. № 608 и введен в действие с 01 января 2013 г.

5 Зарегистрирован Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт). Пересмотр СП 61.13330.2010 "СНиП 41-03-2003 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов"

Информация об изменениях к настоящему своду правил публикуется в ежегодно издаваемом информационном указателе "Национальные стандарты", а текст изменений и поправок - в ежемесячно издаваемых информационных указателях "Национальные стандарты". В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего свода правил соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячно издаваемом информационном указателе "Национальные стандарты". Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования - на официальном сайте разработчика (Минрегион России) в сети Интернет

Введение

Настоящий свод правил разработан с учетом современных тенденций в проектировании промышленной тепловой изоляции и рекомендаций международных организаций по стандартизации и нормированию.

ГОСТ 9438-85 Пленка поливинилбутиральная клеящая. Технические условия

ГОСТ 10296-79 Изол. Технические условия

ГОСТ 10354-82 Пленка полиэтиленовая. Технические условия

ГОСТ 10923-93* Рубероид. Технические условия

ГОСТ 14918-80* Сталь тонколистовая оцинкованная с непрерывных линий.

Технические условия

ГОСТ 17314-81 Устройства для крепления тепловой изоляции стальных сосудов и аппаратов. Конструкция и размеры. Технические требования

ГОСТ 25100-95 Грунты. Классификация

ГОСТ 25951-83 Пленка полиэтиленовая термоусадочная. Технические условия

ГОСТ 30244-94 Материалы и изделия строительные. Методы испытаний на возгораемость (горючесть)

ГОСТ 30732-2006 Трубы и фасонные изделия стальные с тепловой изоляцией из пенополиуретана с защитной оболочкой. Технические условия

ГОСТ 31309-2005 Материалы строительные теплоизоляционные на основе минеральных волокон. Общие технические условия

Приложение Б (справочное)

Расчетные технические характеристики теплоизоляционных материалов и изделий

Таблица Б.1

Материал, изделие	Средняя плотность в конструкции и, кг/м ³	Теплопроводность теплоизоляционного материала в конструкции λкз, Вт/(м·°С) для поверхностей с температурой, °С		Температура применений, °С	Группа горючести
		20 и выше	19 и ниже		
Маты минераловатные прошивные	90	0,041+0,00022 tm	0,041-0,032	От минус 180 до 450 для матов, на ткани, сетке, холсте из стекловолокна; до 700 - на металлической сетке	Негорючие
	100	0,045+0,00021 tm	0,044-0,035		
	125	0,049+0,0002 tm	0,048-0,037		
Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты на синтетическом связующем	65	0,04+0,00029 tm	0,039-0,03	От минус 60 до 400	То же
	95	0,043+0,00022 tm	0,042-0,031		
	120	0,044+0,00021 tm	0,043-0,032	От минус 180 до 400	"
	180	0,052+0,0002 tm	0,051-0,038		
Полуцилиндры и цилиндры минераловатные	50	0,04+0,00003 tm	0,039-0,029	От минус 180 до 400	"
	80	0,044+0,00022 tm	0,043-0,032		
	100	0,049+0,00021 tm	0,048-0,036		
	150	0,05+0,0002 tm	0,049-0,035		
	200	0,053+0,00019 tm	0,052-0,038		
Маты и вата из супертонкого базальтового волокна без связующего	80	0,032+0,00019 tm	0,031-0,24	От минус 180 до 600	"

Шнур теплоизоляционный из минеральной ваты	200	0,056+0,00019 tm	0,055-0,04	От минус 180 до 600	НГ-Г1
Шнур асбестовый	100-160	0,093+0,00019 tm	-	От 20 до 220	Г1
Маты из стеклянного штапельного волокна на синтетическом связующем	50	0,04+0,0003 tm	0,039-0,029	От минус 60 до 180	Негорючие
	70	0,042+0,00028 tm	0,041-0,03		
Маты прошивные из стеклянного штапельного волокна на синтетическом связующем	50	0,04+0,0002 tm	0,037-0,03	От минус 60 до 300	Негорючие
Маты и вата из супертонкого стеклянного волокна без связующего	70	0,033+0,00014 tm	0,032-0,024	От минус 180 до 400	То же
Теплоизоляционные изделия из пеностекла	130	0,05+0,0002 tm	0,05-0,038	От минус 150 до 350	"
Армопенобетон	200-300	0,055+0,0002 tm	0,055	От минус 60 до 300	"
Песок перлитовый, вспученный, мелкий	110	0,052+0,00012 tm	0,051-0,038	От минус 180 до 875	"
	150	0,055+0,00012 tm	0,054-0,04		
	225	0,058+0,00012 tm	0,057-0,042		
Теплоизоляционные изделия из пенополистирола	30	0,033+0,00018 tm	0,032-0,024	От минус 180 до 70	Г3-Г4
	50	0,036+0,00018 tm	0,035-0,026		
	100	0,041+0,00018 tm	0,04-0,03		
Теплоизоляционные изделия из пенополиуретана	40	0,030+0,00015 tm	0,029-0,024	От минус 180 до 130	Г2-Г4
	50	0,032+0,00015 tm	0,031-0,025		
	70	0,037+0,00015 tm	0,036-0,027		
Пенополимерминерал	200-250	0,047+0,0002 tm	0,047	0,031-0,24	От минус 180 до 600
Шнур теплоизоляционный из минеральной ваты	200	0,056+0,00019 tm	0,055-0,04	От минус 180 до 600	НГ-Г1
Шнур асбестовый	100-160	0,093+0,00019 tm	-	От 20 до 220	Г1
Маты из стеклянного штапельного волокна на синтетическом связующем	50	0,04+0,0003 tm	0,039-0,029	От минус 60 до 180	Негорючие
	70	0,042+0,00028 tm	0,041-0,03		

Маты прошивные из стеклянного штапельного волокна на синтетическом связующем	50	0,04+0,0002 tm	0,037-0,03	От минус 60 до 300	Негорючие
Маты и вата из супертонкого стеклянного волокна без связующего	70	0,033+0,00014 tm	0,032-0,024	От минус 180 до 400	То же
Теплоизоляционные изделия из пеностекла	130	0,05+0,0002 tm	0,05-0,038	От минус 150 до 350	"
Армопенобетон	200-300	0,055+0,0002 tm	0,055	От минус 60 до 300	"
Песок перлитовый, вспученный, мелкий	110	0,052+0,00012 tm	0,051-0,038	От минус 180 до 875	"
	150	0,055+0,00012 tm	0,054-0,04		
	225	0,058+0,00012 tm	0,057-0,042		
Теплоизоляционные изделия из пенополистирола	30	0,033+0,00018 tm	0,032-0,024	От минус 180 до 70	Г3-Г4
	50	0,036+0,00018 tm	0,035-0,026		
	100	0,041+0,00018 tm	0,04-0,03		
Теплоизоляционные изделия из пенополиуретана	40	0,030+0,00015 tm	0,029-0,024	От минус 180 до 130	Г2-Г4
	50	0,032+0,00015 tm	0,031-0,025		
	70	0,037+0,00015 tm	0,036-0,027		
Пенополимерминерал	200-250	0,047+0,0002 tm	0,047	От минус 60 до 150	Г1
Теплоизоляционные изделия из вспененного каучука	60-80	0,034+0,0002 tm	0,033	От минус 60 до 125	Г1-Г3
Теплоизоляционные изделия из пенополиэтилена	50	0,035+0,00018 tm	0,033	От минус 70 до 70	Г3-Г4

Примечания

1 Средняя температура теплоизоляционного слоя, °С:

$t_m = (t_w + 40) / 2$ - на открытом воздухе в летнее время, в помещении, в каналах, тоннелях, технических подпольях, на чердаках и в подвалах зданий;

$t_m = t_w / 2$ - на открытом воздухе, воздухе в зимнее время, где t_w - температура среды внутри изолируемого оборудования (трубопровода).

2 Большее значение расчетной теплопроводности теплоизоляционного материала в конструкции для поверхностей с температурой 19 °С и ниже относится к температуре изолируемой поверхности от минус 60 до 19 °С, меньшее - к температуре минус 61 °С и ниже.

Методы расчета тепловой изоляции оборудования и трубопроводов

В.1 Расчетные формулы стационарной теплопередачи в теплоизоляционных конструкциях Поверхностная плотность теплового потока через плоские поверхности рассчитывается по формулам:

однослойная плоская стенка

$$q_F = \frac{t_B - t_H}{R_{BH} + R_{CT} + R_{ИЗ} + R_H}; \quad (B.1)$$

многослойная плоская стенка из n слоев

$$q_F = \frac{t_B - t_H}{R_{BH} + R_{CT} + \sum_{i=1}^n R_i + R_H}. \quad (B.2)$$

Линейная плотность теплового потока через цилиндрические поверхности рассчитывается по формулам:

однослойная цилиндрическая стенка

$$q_L = \frac{t_B - t_H}{R_{BH}^L + R_{CT}^L + R_{ИЗ}^L + R_H^L}; \quad (B.3)$$

многослойная цилиндрическая стенка из n слоев

$$q_L = \frac{t_B - t_H}{R_{BH}^L + R_{CT}^L + \sum_{i=1}^n R_i^L + R_H^L}; \quad (B.4)$$

где q_F - поверхностная плотность теплового потока через плоскую теплоизоляционную конструкцию, Вт/м²;

t_B - температура среды внутри изолируемого объекта, °С;

t_H - температура окружающей среды, °С;

R_{BH} - сопротивление теплоотдаче на внутренней поверхности стенки изолируемого объекта, м²·°С/Вт;

R_H - то же, на наружной поверхности теплоизоляции, м²·°С/Вт;

R_{CT} - термическое сопротивление стенки изолируемого объекта, м²·°С/Вт;

$R_{ИЗ}$ - то же, плоского слоя изоляции, м²·°С/Вт;

$\sum_{i=1}^n R_i$ - полное термическое сопротивление n-слойной плоской изоляции;

R_i - термическое сопротивление i-го слоя, м²·°С/Вт;

q_L - линейная плотность теплового потока через цилиндрическую теплоизоляционную конструкцию, Вт/м;

R_{BH}^L - линейное термическое сопротивление теплоотдаче внутренней стенки изолируемого объекта, м·°С/Вт;

R_H^L - то же, наружной изоляции, м·°С/Вт;

R_{CT}^L - линейное термическое сопротивление цилиндрической стенки изолируемого объекта, м·°С/Вт;

$R_{ИЗ}^L$ - то же, цилиндрического слоя изоляции, м·°С/Вт;

$\sum_{i=1}^n R_i^L$ - полное линейное термическое сопротивление n-слойной цилиндрической изоляции;

R_i^L - линейное термическое сопротивление i-го слоя, м·°С/Вт.

В уравнениях (В.1)-(В.4) сопротивления теплоотдаче и термические сопротивления стенок определяются по формулам:

$$R_{\text{вн}} = \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}}; \quad R_{\text{н}} = \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}; \quad R_{\text{из}} = \frac{\delta_{\text{из}}}{\alpha_{\text{из}}}; \quad R_{\text{ст}} = \frac{\delta_{\text{ст}}}{\alpha_{\text{ст}}}; \quad R_i = \frac{\delta_i}{\alpha_i}; \quad (\text{В.5})$$

$$R_{\text{вн}}^L = \frac{1}{\pi d_{\text{вн}}^{\text{ст}} \alpha_{\text{вн}}}; \quad R_{\text{н}}^L = \frac{1}{\pi d_{\text{н}}^{\text{из}} \alpha_{\text{н}}}; \quad R_{\text{из}}^L = \frac{1}{2\pi \lambda_{\text{из}}} \cdot \ln \frac{d_{\text{н}}^{\text{из}}}{d_{\text{н}}^{\text{ст}}}; \quad (\text{В.6})$$

$$R_{\text{ст}}^L = \frac{1}{2\pi \lambda_{\text{ст}}} \cdot \ln \frac{d_{\text{н}}^{\text{ст}}}{d_{\text{вн}}^{\text{ст}}}; \quad R_i^L = \frac{1}{2\pi \lambda_i} \cdot \ln \frac{d_{\text{н}}^i}{d_{\text{вн}}^i}; \quad (\text{В.7})$$

где $\alpha_{\text{вк}}$, $\alpha_{\text{к}}$ - коэффициенты теплоотдачи внутренней поверхности стенки изолируемого объекта и наружной поверхности изоляции, Вт/(м²·°С); $\lambda_{\text{ст}}$, $\lambda_{\text{кз}}$, λ_i - коэффициенты теплопроводности соответственно материала стенки изолируемого объекта однослойной изоляции, изоляции i-го слоя n-слойной изоляции, Вт/(м·°С); $\delta_{\text{ст}}$, $\delta_{\text{кз}}$, δ_i - толщина соответственно стенки изолируемого объекта, однослойной изоляции i-го слоя n-слойной изоляции, м; $d_{\text{вн}}^{\text{ст}}$, $d_{\text{н}}^{\text{ст}}$ - внутренний и наружный диаметры стенки изолируемого объекта, м; $d_{\text{н}}^{\text{из}}$ - наружный диаметр изоляции, м; $d_{\text{н}}^i$, $d_{\text{вн}}^i$ - наружный и внутренний диаметры i-го слоя n-слойной изоляции, м.

Распределение температур в многослойной изоляции рассчитывается по формулам:

температуры на внутренней и наружной поверхностях стенки изолируемого объекта плоской формы:

$$t_{\text{вн}}^{\text{ст}} = t_{\text{в}} - q_F R_{\text{вн}}; \quad t_{\text{н}}^{\text{ст}} = t_{\text{вн}}^{\text{ст}} - q_F R_{\text{ст}}; \quad (\text{В.8})$$

температура $t_1^{\text{н}}$ на наружной поверхности первого слоя изоляции, на границе первого и второго слоев

$$t_1^{\text{н}} = t_{\text{н}}^{\text{ст}} - q_F R_1; \quad (\text{В.9})$$

и далее, начиная со второго слоя, на границах (i-1)-го и i-го слоев

$$t_i^{\text{н}} = t_{(i-1)}^{\text{н}} - q_F R_i; \quad (\text{В.10})$$

температура на наружной поверхности i-слоя n-слойной стенки:

$$t_i^{\text{н}} = t_{\text{н}} + q_F R_{\text{н}}. \quad (\text{В.11})$$

Распределение температур в цилиндрических многослойных изоляционных конструкциях рассчитывается по формулам:

$$t_{\text{вн}}^{\text{ст}} = t_{\text{в}} - q_L R_{\text{вн}}^L; \quad t_{\text{н}}^{\text{ст}} = t_{\text{вн}}^{\text{ст}} - q_L R_{\text{ст}}^L; \quad (\text{В.12})$$

$$t_1^{\text{н}} = t_{\text{н}}^{\text{ст}} - q_L R_1^L; \quad (\text{В.13})$$

$$t_i^{\text{н}} = t_{(i-1)}^{\text{ст}} - q_L R_i^L; \quad (\text{В.14})$$

$$t_i^{\text{н}} = t_{\text{н}} - q_L R_{\text{н}}^L. \quad (\text{В.15})$$

Значения поверхностной и линейной плотности тепловых потоков, входящих в формулы (В.8)-(В.15), определяются по (В.1)-(В.4), а термические сопротивления - по (В.5)-(В.7).

При расчете многослойных конструкций по формулам (В.2), (В.4) необходимо знать коэффициенты теплопроводности изоляционных слоев. Поскольку они зависят от температуры должны быть известны средние температуры каждого слоя, для определения которых необходимо знать температуры на границах слоев. Для их расчета используется метод последовательных приближений, предусматривающий проведение нескольких расчетных операций.

На первом этапе для всех слоев средняя температура изоляции принимается равной полусумме температур внутренней и наружной среды, при этой температуре определяется теплопроводность всех теплоизоляционных слоев. Затем, по (2), (4) определяют значения q_F или q_L и по (В.8)-(В.11) для плоской и по (В.12)-(В.15) цилиндрической стенок рассчитывают температуры на границах слоев и средние температуры каждого слоя.

На втором этапе по найденным на первом этапе средним температурам слоев вновь определяют теплопроводность всех слоев, затем находят плотности потоков тепла и снова рассчитывают послойные температуры, и так далее до требуемой точности расчета. Например, до тех пор, пока послойные температуры на k -м и $(k-1)$ -м шаге будут отличаться не более чем на 5 %. В практических расчетах для этой цели необходимо проведение не более 3-4 расчетных операций.

В.2 Расчет тепловой изоляции оборудования и трубопроводов В практических расчетах тепловой изоляции принимается ряд допущений, позволяющих использовать упрощенные расчетные формулы.

Сопротивление теплоотдаче от внутренней среды к внутренней поверхности стенки изолируемого объекта для жидких и газообразных сред является пренебрежимо малым в сравнении с термическим сопротивлением теплоизоляционного слоя и в практических расчетах может не учитываться.

Теплопроводность стенок изолируемого оборудования и трубопроводов, изготовленных из металла, в десятки раз превышает теплопроводность изоляции, поэтому термическим сопротивлением стенки также можно пренебречь без заметного снижения точности расчета.

С учетом указанных допущений в практических расчетах для определения теплового потока через изолированные стенки трубопроводов и оборудования используются следующие формулы:

для плоских поверхностей и цилиндрических диаметром более 2 м

$$q_F = \frac{(t_B - t_H)K}{\sum_{i=1}^n R_i + R_H}; \quad (B.16)$$

для трубопроводов диаметром менее 2 м

$$q_L = \frac{(t_B - t_H)K}{\sum_{i=1}^n R_i^L + R_H^L}, \quad (B.17)$$

где K - коэффициент дополнительных потерь, учитывающий теплопотери через теплопроводные включения в теплоизоляционных конструкциях, обусловленных наличием в них крепежных деталей и опор (таблица В.1).

Таблица В.1- Значения коэффициента дополнительных потерь для трубопроводов

Тип изолируемого объекта	Коэффициент К
Трубопроводы на открытом воздухе, в непроходных каналах, тоннелях и помещениях:	
а) стальные на подвижных опорах, условным проходом, мм:	
до 150	1,2
150 и более	1,15
б) стальные на подвесных опорах	1,05
в) неметаллические на подвижных и подвесных опорах	1,7
Трубопроводы бесканальной прокладки	1,15

Термическое сопротивление слоев тепловой изоляции и сопротивление внешней теплоотдаче в (В.16), (В.17) определяется по формулам (В.5), (В.6), в которых теплопроводность изоляции принимается по приложению Б, а коэффициент теплоотдачи на поверхности изоляции - по таблице В.2.

Таблица В.2 - Значения коэффициента теплоотдачи α , Вт/($i^2 \text{ } ^\circ\text{C}$)

Изолированный объект	В закрытом помещении		На открытом воздухе при скорости ветра ³ , м/с		
	Покрытия с низким коэффициентом излучения ¹	Покрытия с высоким коэффициентом излучения ²	5	10	15
Горизонтальные трубопроводы	7	10	20	26	35
Вертикальные трубопроводы, оборудование, плоская стенка	8	12	26	35	52
¹ К ним относятся покрытия из оцинкованной стали, листов алюминиевых сплавов и алюминия с оксидной пленкой. ² К ним относятся штукатурки, асбестоцементные покрытия, стеклопластики, различные окраски (кроме краски с алюминиевой пудрой). ³ При отсутствии сведений о скорости ветра принимают значения, соответствующие скорости 10 м/с.					

При расчете тепловой изоляции объектов, расположенных под землей, учитывается их тепловое взаимодействие с массивом окружающего грунта.

Плотность теплового потока через теплоизоляционные конструкции, граничащие с грунтом, определяется по формулам (В.1)-(В.4), в которых термические сопротивления внешней теплоотдаче R_K и R_E заменяются термическим сопротивлением грунта.

В общем случае термическое сопротивление грунта зависит от конфигурации и расположения изолируемого объекта в массиве грунта, его температуры и теплопроводности, что влияет на распределение температур и тепловых потоков в теплоизоляционном слое.

В инженерных расчетах принимается допущение об одномерности температурного поля в теплоизоляционном слое, что позволяет с достаточной для практики точностью использовать формулы (В.5)-(В.7) для расчета термического

сопротивления плоских и цилиндрических теплоизоляционных конструкций подземных объектов.

В.2.1 Расчет толщины тепловой изоляции по нормированной плотности теплового потока

Расчет толщины тепловой изоляции по нормированной плотности теплового потока - q_F^H , q_L^H для однослойных конструкций выполняется по следующим формулам.

Для плоских и цилиндрических поверхностей с диаметром 2 м и более используется формула

$$\delta_{из} = \lambda_{из} \left[\frac{K(t_B - t_H)}{q_F^H} - R_H \right]; \quad (B.18)$$

Таблица В.3 - Ориентировочные значения R_E^L , м °С/Вт

Условный диаметр трубы, мм	Внутри помещений						На открытом воздухе		
	Для поверхностей с малым коэффициентом излучения			Для поверхностей с высоким коэффициентом излучения					
	при температуре теплоносителя,								
	100	300	500	100	300	500	100	300	500
32	0,50	0,35	0,30	0,33	0,22	0,17	0,12	0,09	0,07
40	0,45	0,30	0,25	0,29	0,20	0,15	0,10	0,07	0,05
50	0,40	0,25	0,20	0,25	0,17	0,13	0,09	0,06	0,04
100	0,25	0,19	0,15	0,15	0,11	0,10	0,07	0,05	0,04
125	0,21	0,17	0,13	0,13	0,10	0,09	0,05	0,04	0,03
150	0,18	0,15	0,11	0,12	0,09	0,08	0,05	0,04	0,03
200	0,16	0,13	0,10	0,10	0,08	0,07	0,04	0,03	0,03
250	0,13	0,10	0,09	0,09	0,07	0,06	0,03	0,03	0,02
300	0,11	0,09	0,08	0,08	0,07	0,06	0,03	0,02	0,02
350	0,10	0,08	0,07	0,07	0,06	0,05	0,03	0,02	0,02
400	0,09	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,02	0,02	0,02
500	0,075	0,065	0,06	0,05	0,045	0,04	0,02	0,02	0,016
600	0,062	0,055	0,05	0,043	0,038	0,035	0,017	0,015	0,014
700	0,055	0,051	0,045	0,038	0,035	0,032	0,015	0,013	0,012
800	0,048	0,045	0,042	0,034	0,031	0,029	0,013	0,012	0,011
900	0,044	0,041	0,038	0,031	0,028	0,026	0,012	0,011	0,010
1000	0,040	0,037	0,034	0,028	0,026	0,024	0,011	0,010	0,009
2000	0,022	0,020	0,017	0,015	0,014	0,013	0,006	0,006	0,005

Примечания

1 Для промежуточных значений диаметров и температуры величина R_E^L определяется интерполяцией.

2 Для температуры теплоносителя ниже 100 °С принимаются данные, соответствующие 100 °С.

Для однослойных цилиндрических поверхностей диаметром менее 2 м используется формула

$$\ln B = 2\pi\lambda_{из} \left[\frac{K(t_B - t_H)}{q_L^H} - R_H^L \right]. \quad (B.19)$$

Коэффициент дополнительных тепловых потерь K через опоры трубопроводов в расчете толщины тепловой изоляции по нормативной плотности теплового потока принимается равным 1.

При расчете по формуле (В.19) предварительно определяют величину $\ln B$, где

$$B = \frac{d_{\text{н}}^{\text{СТ}} + 2\delta_{\text{из}}}{d_{\text{н}}^{\text{из}}}$$

Приближенные значения R_{E}^{I} принимаются по таблице В.3.

Затем находят величину B и определяют требуемую толщину изоляции по формуле

$$\delta_{\text{из}} = \frac{d_{\text{н}}^{\text{СТ}} (B - 1)}{2} \quad (\text{В.20})$$

Для двухслойных теплоизоляционных конструкций расчет толщины слоев по нормированной плотности теплового потока производится в следующей последовательности.

В случае, когда максимальная температура применения одного из выбранных теплоизоляционных материалов ниже температуры стенки изолируемого объекта в двухслойных теплоизоляционных конструкциях в качестве первого слоя на изолируемую поверхность устанавливается материал с более высокой допустимой температурой применения.

Толщина первого слоя определяется из условия, чтобы температура между обоими слоями t_1, t_2 не превышала максимальной температуры применения основного изоляционного материала.

Для плоской стенки и цилиндрических объектов с диаметром 2 м и более для расчета толщины первого слоя применяется формула

$$\delta_{\text{из1}} = \lambda_{\text{из1}} \left[\frac{(t_{\text{в}} - t_{1,2})}{q_{\text{F}}^{\text{H}}} \right] \quad (\text{В.21})$$

Для второго слоя применяется формула (В.18), в которую вместо значения $t_{\text{в}}$ подставляется $t_{1,2}$.

При расчете цилиндрических объектов с диаметром менее 2 м - аналогично однослойной конструкции по уравнению

$$\ln B_1 = 2\pi\lambda_{\text{из1}} \left[\frac{(t_{\text{в}} - t_{1,2})}{q_{\text{L}}^{\text{H}}} \right], \quad (\text{В.22})$$

в котором $B_1 = \frac{d_{\text{н}}^{\text{СТ}} + 2\delta_{\text{из1}}}{d_{\text{н}}^{\text{СТ}}}$, определяют величину $\ln B_1$, затем находят B_1 и толщину первого слоя, м:

$$\delta_{\text{из1}} = \frac{d_{\text{н}}^{\text{СТ}} (B_1 - 1)}{2}$$

Толщина второго слоя определяется с помощью формулы (В.19), в которой вместо значения $t_{\text{в}}$ подставляется значение $t_{1,2}$, а вместо B - B_2

$$B_2 = \frac{d_{\text{из1}} + 2\delta_{\text{из2}}}{d_{\text{из1}}}$$

Определив $\ln B_2$ находят B_2 , а затем толщину изоляции второго слоя, м:

$$\delta_{\text{из2}} = \frac{d_{\text{из1}} (B_2 - 1)}{2} \quad (\text{В.23})$$

Расчет требуемой толщины тепловой изоляции по нормативной плотности теплового потока может быть выполнен методом последовательных приближений. Последовательность расчета для однослойной цилиндрической конструкции следующая.

Задаваясь начальным значением толщины изоляции δ_0 , м, определяемой требуемой точностью расчета, например, 0,001 м, с помощью последовательных шагов 1, 2, 3, 4, ..., i для толщины изоляции:

$\delta_1 = \delta_{01}$, $\delta_2 = \delta_{02}$; $\delta_3 = \delta_{03}$; ..., $\delta_i = \delta_{0i}$; производят вычисление линейной плотности тепловых потоков q_L^1 ; q_L^2 ; ...; q_L^i ; по уравнению

$$q_L^i = \frac{\pi(t_B - t_{1,2})}{\frac{1}{\alpha_H(\alpha_H^{CT} + 2\delta_{0i})} + \frac{1}{2\lambda_{из}} \ln \frac{d_H^{CT} + 2\delta_{0i}}{d_H^{CT}}} \quad (B.24)$$

На каждом шаге вычислений i производится сравнение q_L^i с заданным значением нормативного удельного потока q_L^H . При выполнении условия

$$q_L^i - q_L^H \leq 0 \quad (B.25)$$

вычисления заканчиваются, а найденная величина $\delta = \delta_{0i}$ является искомой, обеспечивающей заданную величину тепловых потерь.

Расчетные параметры при определении толщины изоляции по нормируемой плотности теплового потока следует принимать по 6.1.1-6.1.6 настоящего свода правил.

В.2.2 Расчет толщины изоляции по заданному снижению (повышению) температуры вещества, транспортируемого трубопроводами

Требуемое полное термическое сопротивление изоляции $R^L = R_{из}^L + R_H^L$ трубопровода длиной l , м, для обеспечения заданного снижения температуры транспортируемого по нему вещества от начальной t_B' до конечной t_B'' при расходе вещества G , кг/ч, теплоемкостью C , кДж/(кг·°С) определяется из выражений:

$$\text{при } \frac{t_B' - t_H}{t_B'' - t_H} \geq 2, \quad R_1^L = \frac{3,6 Kl}{GC \ln \frac{t_B' - t_H}{t_B'' - t_H}}; \quad (B.26)$$

$$\text{при } \frac{t_B' - t_H}{t_B'' - t_H} \leq 2, \quad R_2^L = \frac{3,6 Kl \left(\frac{t_B' + t_B''}{2} - t_H \right)}{GC(t_B' - t_B'')} \quad (B.27)$$

где t_H - расчетная температура окружающей среды, °С.

Для определения требуемой толщины изоляции $\delta_{кз}$, м, по найденным значениям R_1^L и R_2^L используется формула

$$\ln B_{1,2} = 2\pi\lambda_{из}(R_{1,2}^L - R_H^L) \quad (B.28)$$

Принимая приближенные значения R_H по таблице В.3 и определяя по формуле (B.28) $\ln B$, находят величину B и затем по формуле (B.20) толщину изоляции

$$\delta_{кз1,2} = \frac{d_H^{CT}(B_{1,2} - 1)}{2}$$

Расчетные параметры при определении толщины тепловой изоляции по заданной величине снижения (повышения) температуры транспортируемого вещества принимаются по 6.4 настоящего свода правил.

В.2.3 Расчет толщины тепловой изоляции по заданной температуре наружной поверхности Определение толщины изоляции по заданной температуре ее наружной поверхности t_p производится в том случае, когда изоляция нужна как средство, предохраняющее обслуживающий персонал от ожогов.

Расчет толщины тепловой изоляции выполняется по формулам: для плоских теплоизоляционных конструкций

$$\delta_{из} = \frac{\lambda_{из}(t_B - t_{п})}{\alpha_H(t_{п} - t_H)}; \quad (B.29)$$

для цилиндрических

$$\ln B = \ln \frac{d_H^{ст} + 2\delta_{из}}{d_H^{ст}} = 2\pi\lambda_{из}R_H^L \frac{t_B - t_{п}}{t_{п} - t_H}, \quad (B.30)$$

где ориентировочное значение R_H^L принимается по таблице В.3.

Рассмотренный метод является приближенным. Более точные результаты могут быть получены методом последовательных приближений.

Расчет выполняется по формуле

$$\left(\frac{t_B - t_{п}}{t_{п} - t_H} \right)_i = \frac{\ln \frac{d_H^{ст} + 2\delta_{0i}}{d_H^{ст}} \alpha_H (d_H^{ст} + 2\delta_{0i})}{2\lambda_{из}}. \quad (B.31)$$

Задаваясь начальным значением толщины изоляции δ_0 , м, определяемым требуемой точностью расчета, например, 0,001 м, последовательными шагами 1, 2, 3, ..., i для толщин изоляции: $\delta_1 = \delta_{01}$; $\delta_2 = \delta_{02}$; $\delta_3 = \delta_{03}$; ..., $\delta_i = \delta_{0i}$ производится вычисление величин:

$$\left(\frac{t_B - t_{п}}{t_{п} - t_H} \right)_1; \left(\frac{t_B - t_{п}}{t_{п} - t_H} \right)_2; \left(\frac{t_B - t_{п}}{t_{п} - t_H} \right)_3; \dots; \left(\frac{t_B - t_{п}}{t_{п} - t_H} \right)_i \quad \text{по уравнению (B.31).}$$

На каждом шаге вычислений i производится сравнение $\left(\frac{t_B - t_{п}}{t_{п} - t_H} \right)_i$ с заданным

значением $\left(\frac{t_B - t_{п}}{t_{п} - t_H} \right)_p$. При выполнении условия

$$\left(\frac{t_B - t_{п}}{t_{п} - t_H} \right)_i - \left(\frac{t_B - t_{п}}{t_{п} - t_H} \right)_p \geq 0 \quad (B.32)$$

вычисления заканчиваются, а найденная величина $\delta_i = \delta_{0i}$ является с точностью до 1 мм заданной, обеспечивающей требуемую температуру поверхности изоляции.

Расчетные параметры при расчете толщины тепловой изоляции по заданной температуре поверхности принимаются по 6.7.

В.2.4 Расчет толщины изоляции, предотвращающей конденсацию влаги из воздуха на ее поверхности Данный расчет производится для изолированных объектов, расположенных в помещениях и содержащих вещества с температурой ниже температуры окружающего воздуха.

В этом случае изоляция должна обеспечивать требуемый расчетный перепад между температурами наружного воздуха и поверхностью изоляции ($t_k - t_p$), при котором исключается конденсация влаги из воздуха (таблица В.4).

Таблица В.4 - Расчетный перепад tk-tp, °C

tn, °C	Относительная влажность воздуха φ, %					
	40	50	60	70	80	90
10	13,4	10,4	7,8	5,5	3,5	1,6
15	14,2	10,9	9,1	5,7	3,6	1,7
20	14,8	11,3	8,4	5,9	3,7	1,8
25	15,3	11,7	8,7	6,1	3,8	1,9
30	15,9	12,2	9,0	6,3	4,0	2,0

Расчет выполняется по формулам:
для плоской поверхности

$$R_{из} = \frac{t_{п} - t_{в}}{t_{н} - t_{п}} R_{н}; \quad \delta_{из} = \frac{\lambda_{из} (t_{п} - t_{в})}{\alpha_{н} (t_{н} - t_{п})}; \quad (B.33)$$

для цилиндрической поверхности

$$R_{из}^L = \frac{t_{п} - t_{в}}{t_{н} - t_{п}} R_{н}^L; \quad \ln B = 2\pi\lambda_{из} R_{н}^L \frac{t_{п} - t_{в}}{t_{н} - t_{п}}. \quad (B.34)$$

Требуемая толщина изоляции определяется по методике, изложенной в В.2.3.

В расчетах температуру наружной среды tk следует принимать равной температуре воздуха в помещении.

Температуру внутренней среды tv и относительную влажность воздуха в помещении φ принимают в соответствии с техническим заданием на проектирование.

Коэффициент теплоотдачи к наружной поверхности изоляции αк принимается для поверхностей с низким коэффициентом излучения - 5 Вт/(м²·°C), для поверхностей с высоким коэффициентом излучения - 7 Вт/(м²·°C) (см. примечание к таблице В.2).

В.3 Расчет тепловой изоляции трубопроводов тепловых сетей

В.3.1 Надземная прокладка

Тепловые потери через изолированную поверхность подающих и обратных трубопроводов тепловых сетей при надземной прокладке, при известной толщине изоляции δиз, м, следует определять по формуле (В.17), а термические сопротивления, входящие в эту формулу, - по (В.6). В качестве температур внутренней и наружной сред tv и tk принимают расчетные температуры теплоносителя и окружающего воздуха, а коэффициент теплоотдачи αк - по таблице В.2.

При определении толщины изоляции трубопроводов тепловых сетей по нормированным значениям плотности тепловых потоков от подающих и обратных трубопроводов используется методика расчетов, изложенная в разделе В.2.1. При этом расчетные температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе принимают по таблице В.5.

Таблица В.5 - Среднегодовые температуры теплоносителя в водяных тепловых сетях, °C

Трубопровод	Расчетные температурные режимы, °C		
	95-70	150-70	180-70
Подающий	65	90	110
Обратный	50	50	50

Расчетную температуру наружной среды принимают: при круглогодичной работе тепловой сети - среднегодовую температуру наружного воздуха, при работе только в отопительный период - среднюю температуру отопительного периода. Расчетный коэффициент теплоотдачи α_K - по таблице В.2.

В.3.2 Подземная прокладка в непроходных каналах

Тепловые потери через изолированную поверхность двухтрубных тепловых сетей, прокладываемых в непроходном канале шириной b и высотой h , м, на глубине H , м, от поверхности земли до оси канала определяются по формуле

$$q_{1,2}^L = q_1^L + q_2^L = \frac{(t_{\text{кан}} - t_{\text{н}})K}{R_{\text{кан}} + R_{\text{гр}}^K} \quad (\text{В.35})$$

Температура воздуха в канале $t_{\text{кан}}$ определяется по формуле

$$t_{\text{кан}} = \frac{\frac{t_{\text{в1}}}{R_{\text{из1}}^L + R_{\text{н1}}^L} + \frac{t_{\text{в2}}}{R_{\text{из2}}^L + R_{\text{н2}}^L} + \frac{t_{\text{н}}}{R_{\text{кан}} + R_{\text{гр}}^K}}{\frac{1}{R_{\text{из1}}^L + R_{\text{н1}}^L} + \frac{1}{R_{\text{из2}}^L + R_{\text{н2}}^L} + \frac{1}{R_{\text{кан}} + R_{\text{гр}}^K}}, \quad (\text{В.36})$$

$$\text{где } R_{\text{из1}}^L = \frac{1}{2\pi\lambda_{\text{из}}} \cdot \ln \frac{d_1 + 2\delta_{\text{из1}}}{d_1}; \quad R_{\text{из2}}^L = \frac{1}{2\pi\lambda_{\text{из}}} \cdot \ln \frac{d_2 + 2\delta_{\text{из2}}}{d_2}; \quad (\text{В.37})$$

$$R_{\text{н1}}^L = \frac{1}{2\pi\alpha_K(d_1 + 2\delta_{\text{из1}})}; \quad R_{\text{н2}}^L = \frac{1}{2\pi\alpha_K(d_2 + 2\delta_{\text{из2}})}; \quad (\text{В.38})$$

$$R_{\text{кан}} = \frac{1}{\pi\alpha_K + \frac{2bh}{b+h}}, \quad (\text{В.39})$$

здесь q_1^L , q_2^L - линейные плотности теплового потока от подающего и обратного трубопроводов, Вт/м;

d_1 , d_2 - наружные диаметры подающего и обратного трубопроводов, м;

$t_{\text{в1}}$, $t_{\text{в2}}$ - температуры подающего и обратного трубопроводов, °С;

K - коэффициент дополнительных потерь (таблица В.1);

$R_{\text{из1}}^L$, $R_{\text{из2}}^L$ - термические сопротивления изоляции подающего и обратного трубопроводов, м·°С/Вт;

$R_{\text{н1}}^L$, $R_{\text{н2}}^L$ - термические сопротивления теплоотдаче от поверхности изоляции подающего и обратного трубопроводов, м·°С/Вт;

$R_{\text{кан}}$ - термическое сопротивление теплоотдаче от воздуха к поверхности канала, м·°С/Вт;

h , b - высота и ширина канала, соответственно, м;

α_K - коэффициент теплоотдачи в канале, принимается равным 11 Вт/(м²·°С);

$\lambda_{\text{из}}$ - теплопроводность изоляции в конструкции, Вт/(м·°С); $\delta_{\text{из1}}$, $\delta_{\text{из2}}$ - толщины изоляции подающего и обратного трубопроводов, м;

$R_{\text{гр}}^K$ - термическое сопротивление грунта, Вт/(м·°С), определяется по формуле

$$R_{\text{гр}}^K = \frac{\ln \left[3,5 \frac{H}{h} \left(\frac{h}{b} \right)^{0,25} \right]}{\left(5,7 + 0,5 \frac{b}{h} \right) \lambda_{\text{гр}}}; \quad (\text{В.40})$$

$\lambda_{\text{гр}}$ - теплопроводность грунта, Вт/(м·°С), таблица В.6.

H - глубина заложения, расстояние от оси трубы до поверхности земли, м.

Таблица В.6 - Теплопроводность грунта

Вид грунта	Средняя плотность, кг/м ³	Весовое влагосодержание грунта, %	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м°С)
Песок	1480	4	0,86
	1600	5	1,11
		15	1,92
		23,8	1,92
Суглинок	1100	8	0,71
		15	0,9
		8	0,83
	1200	15	1,04
		8	0,98
	1300	15	1,2
		8	1,12
	1400	15	1,36
		20	1,63
		8	1,27
	1500	15	1,56
		20	1,86
		8	1,45
	1600	15	1,78
		5	1,75
	2000	10	2,56
		11,5	2,68
		8	0,72
Глинистый	1300	18	1,08
		40	1,66
		8	1,0
	1500	18	1,46
		40	2,0
		8	1,13
	1600	27	1,93

Расчет требуемой толщины тепловой изоляции по нормированной плотности теплового потока в зависимости от технических требований может выполняться в двух вариантах:

а) по нормативным линейным плотностям теплового \bar{q}_1^L потока и \bar{q}_2^L , заданным отдельно для подающего и обратного трубопровода, в этом случае определяется толщина изоляции для каждого трубопровода;

б) по суммарной нормативной линейной плотности теплового потока от подающего и обратного трубопровода - $\bar{q}_{1,2}^L$, в этом случае определяется толщина изоляции, одинаковая для обоих трубопроводов.

Расчет толщины изоляции по нормативным линейным плотностям теплового потока, заданным отдельно для подающего - \bar{q}_1^L и обратного - \bar{q}_2^L трубопроводов выполняется в следующей последовательности.

На первом этапе рассчитывают температуру в канале по формуле

$$t_{\text{кан}} = t_{\text{н}} + K(q_1^L + q_2^L)(R_{\text{кан}} + R_{\text{тр}}). \quad (\text{B.41})$$

Затем для каждого трубопровода вычисляются значения $\ln B_1$ и $\ln B_2$ по формулам:

$$\ln B_1 = 2\pi\lambda_{\text{из}} \left(\frac{t_{\text{в1}} - t_{\text{кан}}}{q_1^L} - R_{\text{н1}}^L \right); \quad (\text{B.42})$$

$$\ln B_2 = 2\pi\lambda_{\text{из}} \left(\frac{t_{\text{в2}} - t_{\text{кан}}}{q_2^L} - R_{\text{н2}}^L \right), \quad (\text{B.43})$$

где приближенные значения $R_{\text{н1}}^L$ и $R_{\text{н2}}^L$ принимаются по таблице В.3.

Далее, после вычисления B_1 и B_2 , по формуле (В.20) рассчитывают требуемые толщины изоляции для подающего и обратного трубопроводов, обеспечивающие нормативные линейные потери тепла:

$$\delta_{\text{из1}} = \frac{d_1(B_1 - 1)}{2}; \quad \delta_{\text{из2}} = \frac{d_2(B_2 - 1)}{2}.$$

Расчет толщины изоляции подающего и обратного трубопроводов по суммарной нормативной линейной плотности теплового потока - $\bar{q}_{1,2}^L$, Вт/м, выполняется методом последовательных приближений (методом подбора).

На первом этапе задаются начальным значением толщины изоляции $\delta_{\text{из1}} = \delta_{\text{из2}} = \delta_0$, одинаковой для подающего и обратного трубопроводов, и по формулам (В.36)-(В.39) рассчитывают температуру в канале. Затем по формуле (В.35) вычисляют суммарную линейную плотность теплового потока $q_{1,2}^L$.

Полученное расчетное значение сравнивают с нормативной линейной плотностью теплового потока по таблицам 8, 9.

На втором этапе увеличивают или уменьшают толщину изоляции в зависимости от результата сравнения и повторяют расчет в той же последовательности до получения нового расчетного значения - $q_{1,2}^L$.

Расчет повторяют до тех пор, пока расчетное значение плотности теплового потока - $q_{1,2}^L$ будет отличаться от нормативного значения - $\bar{q}_{1,2}^L$ на заданную степень точности расчета, например, не более, чем на 1%. Последнее значение δ принимается в качестве расчетной толщины тепловой изоляции для подающего и обратного трубопроводов.

При расчете тепловой изоляции двухтрубных тепловых сетей в непроходных каналах расчетную температуру теплоносителя в подающих и обратных трубопроводах принимают по таблице В.5.

Расчетную температуру наружной среды принимают равной среднегодовой температуре грунта на глубине заложения трубопровода.

Коэффициент дополнительных тепловых потерь K при расчете толщины изоляции по нормированной плотности теплового потока принимается равным 1.

При расстоянии от поверхности грунта до перекрытия канала 0,7 м и менее за расчетную температуру наружной среды должна приниматься та же температура наружного воздуха, что и при надземной прокладке.

В.3.3 Подземная бесканальная прокладка

Тепловые потери трубопроводов двухтрубных тепловых сетей бесканальной прокладки, расположенных в грунте на одинаковом расстоянии от поверхности до оси труб H , м, определяются по формулам

$$q_1^L = \frac{(t_{в1} - t_{н})(R_{из2}^L + R_{гр2}^K) - (t_{в2} - t_{н})R_0}{(R_{из1}^L + R_{гр1}^K)(R_{из2}^L + R_{гр2}^K) - R_0^2} K \quad ; \quad (B.44)$$

$$q_2^L = \frac{(t_{в2} - t_{н})(R_{из1}^L + R_{гр1}^K) - (t_{в1} - t_{н})R_0}{(R_{из2}^L + R_{гр2}^K)(R_{из1}^L + R_{гр1}^K) - R_0^2} K \quad ; \quad (B.45)$$

$$q_{1,2}^L = q_1^L + q_2^L \quad , \quad (B.46)$$

где $R_{аб}^{\dot{E}}$ - термическое сопротивление грунта при бесканальной прокладке, м°С/Вт, определяется по формуле

$$R_{гр}^K = \frac{1}{2\pi\lambda_{гр}} \ln \left[\frac{2H}{d} + \sqrt{\left(\frac{2H}{d}\right)^2 - 1} \right] \quad , \quad (B.47)$$

где d - наружный диаметр изолированного трубопровода, м; подающего - d1, обратного - d2;

$\lambda_{гр}$ - теплопроводность грунта, Вт/(м °С);

H - глубина заложения (расстояние от оси труб до поверхности земли), м;

R0 - термическое сопротивление, обусловленное тепловым взаимодействием двух труб, м °С/Вт, определяется из выражения

$$R_0 = \frac{\ln \sqrt{1 + \left(\frac{2H}{K_{1,2}}\right)^2}}{2\pi\lambda_{гр}} \quad , \quad (B.48)$$

где K1,2 - расстояния между осями труб по горизонтали, м.

Остальные значения величин в (B.44), (B.45) те же, что и в формуле (B.37) для канальной прокладки.

Так же, как при прокладке двухтрубных тепловых сетей в проходных каналах расчет требуемой толщины тепловой изоляции по нормированной плотности теплового потока в зависимости от технических требований может выполняться в двух вариантах:

а) по нормативным значениям линейной плотности теплового потока \bar{q}_1^L и \bar{q}_2^L , заданным отдельно для подающего и обратного трубопроводов;

б) по суммарной нормативной линейной плотности теплового потока от подающего и обратного трубопроводов - $\bar{q}_{1,2}^L$.

$$\ln \frac{d_1 + 2\delta_{из1}}{d_1} = \frac{2\pi\lambda_{из1}\lambda_{гр}}{\lambda_{гр} - \lambda_{из1}} \left(\frac{t_{в1} - t_{н} - \bar{q}_2^L R_0}{\bar{q}_1^L} - R_{гр1}^{\delta} \right) \quad ; \quad (B.49)$$

$$\ln \frac{d_1 + 2\delta_{из2}}{d_2} = \frac{2\pi\lambda_{из2}\lambda_{гр}}{\lambda_{гр} - \lambda_{из2}} \left(\frac{t_{в2} - t_{н} - \bar{q}_1^L R_0}{\bar{q}_2^L} - R_{гр2}^{\delta} \right) \quad . \quad (B.50)$$

$$B_1 = \frac{d_1 + 2\delta_{ис1}}{d_1} \quad \text{и} \quad B_2 = \frac{d_2 + 2\delta_{ис2}}{d_2}$$

Определив с помощью (В.49), (В.50) значения B_1 и B_2 , вычисляют толщины изоляции так же, как и для канальной прокладки в разделе В.3.2.

Расчет толщины изоляции подающего и обратного трубопроводов двухтрубных тепловых сетей бесканальной прокладки по суммарной нормативной линейной плотности теплового потока $\bar{q}_{i,2}^L$, Вт/м, выполняется методом последовательных приближений (методом подбора).

На первом этапе задаются начальным значением толщины изоляции δ из $1 = \delta$ из $2 = \delta_0$, одинаковой для подающего и обратного трубопроводов, и по формулам (В.44)-(В.46) рассчитывают суммарную линейную плотность теплового потока $\bar{q}_{i,2}^L$.

Полученное расчетное значение сравнивают с нормативной линейной плотностью теплового потока $\bar{q}_{i,2}^L$ (по таблицам 11, 12).

На втором этапе увеличивают или уменьшают толщину изоляции в зависимости от результата сравнения и повторяют расчет в той же последовательности до получения нового расчетного значения $\bar{q}_{i,2}^L$.

Расчет повторяют до тех пор, пока расчетное значение плотности теплового потока будет отличаться от нормативного значения $\bar{q}_{i,2}^L$ на заданную степень точности расчета, например, не более, чем на 1%. Последнее значение δ принимается в качестве расчетной толщины тепловой изоляции для подающего и обратного трубопроводов.

Расчетные параметры теплоносителя и наружной среды для расчета изоляции трубопроводов двухтрубных тепловых сетей бесканальной прокладки принимаются такими же, как и в непроходных каналах.

Приложение Г (рекомендуемое)

Таблица Г.1 - Предельные толщины теплоизоляционных конструкций для оборудования и трубопроводов

Наружный диаметр, мм	Способ прокладки трубопровода					
	надземный		в тоннеле		в непроходном канале	
	Предельная толщина теплоизоляционного слоя, мм, при температуре, °С					
	19 и ниже	20 и более	19 и ниже	20 и более	до 150 вкл.	151 и более
18	80	80	80	80	50	60
25	120	120	100	100	60	80
32	140	140	120	100	80	100
45	140	140	120	100	80	100
57	150	150	140	120	90	120
76	160	160	160	140	90	140
89	180	170	180	160	100	140
108	180	180	180	160	100	160
133	200	200	180	160	100	160
159	220	220	200	160	120	180
219	230	230	200	180	120	200

273	240	230	220	180	120	200
325	240	240	240	200	120	200
377	260	240	260	200	120	200
426	280	250	280	220	140	220
476	300	250	300	220	140	220
530	320	260	320	220	140	220
630	320	280	320	240	140	220
720	320	280	320	240	140	220
820	320	300	320	240	140	220
920	320	300	320	260	140	220
1020 и более	320	320	320	260	140	220

Примечания

1 Для трубопроводов, расположенных в каналах, толщина изоляции указана для положительных температур транспортируемых веществ. Для трубопроводов с отрицательными температурами транспортируемых веществ предельные толщины следует принимать такими же, как при прокладке в тоннелях.

2 В случае, если расчетная толщина изоляции больше предельной, следует принимать более эффективный теплоизоляционный материал и ограничиться предельной толщиной тепловой изоляции, если это допустимо по условиям технологического процесса.

Приложение Д

(справочное)

Определение толщины и объема теплоизоляционных изделий из уплотняющихся материалов Д.1 Толщину теплоизоляционного изделия из уплотняющихся материалов до установки на изолируемую поверхность следует определять с учетом коэффициента уплотнения K_c по формулам:

для цилиндрической поверхности

$$\delta_1 = \delta K_c \frac{d + \delta}{d + 2\delta}, \quad (Д.1)$$

для плоской поверхности

$$\delta_2 = \delta K_c, \quad (Д.2)$$

где δ_1 , δ_2 - толщина теплоизоляционного изделия до установки на изолируемую поверхность (без уплотнения), м; δ - расчетная толщина теплоизоляционного слоя с уплотнением в конструкции, м; d - наружный диаметр изолируемого оборудования, трубопровода, м; K_c - коэффициент уплотнения теплоизоляционных изделий, принимаемый по таблице Д.1.

Примечания

1 В случае, если в формуле (Д.1) произведение $K_c \frac{d + \delta}{d + 2\delta}$ меньше единицы, оно должно приниматься равным единице.

2 При многослойной изоляции толщину изделия до его уплотнения следует определять отдельно для каждого слоя. При определении толщины последующего теплоизоляционного слоя за наружный диаметр (d) принимают диаметр изоляции предыдущего слоя.

3 Объем теплоизоляционных изделий из уплотняющихся материалов для теплоизоляционного слоя до уплотнения следует определять по формуле

$$V = V_i K_c, \quad (Д.3)$$

где V - объем теплоизоляционного материала или изделия до уплотнения, м^3 ;

V_i - объем теплоизоляционного материала или изделия в конструкции с учетом уплотнения, м^3 .

Таблица Д.1

Теплоизоляционные материалы и изделия	Коэффициент уплотнения, K_c
Маты минераловатные прошивные сжимаемостью не более 55%	1,2
Маты минераловатные рулонированные сжимаемостью не более 55%	1,35-1,2
Маты и холсты из супертонкого базальтового волокна при укладке на трубопроводы и оборудование условным проходом, мм:	
Ду<800 при средней плотности 23 $\text{кг}/\text{м}^3$	3,0
То же, при средней плотности 50-60 $\text{кг}/\text{м}^3$	1,5
Ду≥800 при средней плотности 23 $\text{кг}/\text{м}^3$	2,0
То же, при средней плотности 50-60 $\text{кг}/\text{м}^3$	1,5
Изделия вертикально-слоистые (ламелла-маты), маты прошивные гофрированной структуры из стеклянного волокна и каменной ваты сжимаемостью:	
не более 30%	1,0-1,1
Маты рулонированные из стеклянного штапельного волокна сжимаемостью:	
не более 55%	1,4-1,6
55-70%	1,6-2,6
более 70%	2,6-3,6
Плиты минераловатные на синтетическом связующем марки	
35, 50	1,5
75	1,2
100	1,1
125	1,05
Плиты из стеклянного штапельного волокна марки:	
П-30	1,1
П-15, П-17 и П-20	1,2
Песок перлитовый вспученный мелкий марки 75, 100, 150	5