МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ   
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Автомобильные дороги»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ   
К ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЕТНОЙ РАБОТЫ

«ТЕПЛОВАЯ ИЗОЛЯЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ» ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ОПТИМАЛЬНОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ БАЗ (АБЗ, ЦБЗ)»

Ростов-на-Дону

ДГТУ

2019

УДК 625.7

Составители: С.С. Саенко, М.М. Мамакаев

Методические указания к выполнению расчетной работы «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов» по дисциплине «Оптимальное размещение производственных баз (АБЗ, ЦБЗ)». – Ростов-на-Дону: Донской гос. техн. ун-т, 2019. – 30 с.

Предназначены для обучающихся по направлению подготовки «Строительство», уровень подготовки «магистратура», очная и заочная формы обучения

УДК 625.7

Печатается по решению редакционно-издательского совета

Донского государственного технического университета

Ответственный за выпуск зав. кафедрой «Автомобильные дороги»

д-р техн. наук, профессор Углова Е.В.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

В печать 14.03.2019 г.

Формат 60×84/16. Объем 1,9 усл.п.л.

Тираж 50 экз. Заказ № 446

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Издательский центр ДГТУ

Адрес университета и полиграфического предприятия:

344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

© Донской государственный  
технический университет, 2019

Оглавление

[Введение 4](#_Toc4238376)

[1. Область применения 4](#_Toc4238377)

[2. Термины и определения 4](#_Toc4238378)

[3. Общие положения 6](#_Toc4238379)

[4. Требования к материалам и конструкциям тепловой изоляции 8](#_Toc4238380)

[5 Проектирование тепловой изоляции по нормированной плотности теплового потока 11](#_Toc4238381)

[5.1 Определение толщины теплоизоляционного слоя по нормированной плотности теплового потока 11](#_Toc4238382)

[5.2 Определение толщины изоляции 17](#_Toc4238383)

[6 Методы расчета тепловой изоляции оборудования и трубопроводов 19](#_Toc4238384)

[6.1 Расчетные формулы стационарной теплопередачи в теплоизоляционных конструкциях 19](#_Toc4238385)

[6.2 Расчет тепловой изоляции оборудования и трубопроводов 23](#_Toc4238386)

[Исходные данные для расчетной работы 30](#_Toc4238387)

# Введение

Настоящие методические указания разработаны на основе СП 61.13330.2012 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов» с учетом современных тенденций в проектировании промышленной тепловой изоляции и рекомендаций международных организаций по стандартизации и нормированию.

Рекомендации содержат требования к теплоизоляционным материалам, изделиям и конструкциям, правила проектирования тепловой изоляции, нормы плотности теплового потока с изолируемых поверхностей оборудования и трубопроводов с положительными температурами при их расположении на открытом воздухе.

# 1. Область применения

Рекомендации следует соблюдать при проектировании тепловой изоляции наружной поверхности оборудования, трубопроводов, расположенных на открытом воздухе с температурой содержащихся в них веществ от минус 180 до 600 °С.

# 2. Термины и определения

В рекомендациях применены следующие термины с соответствующими определениями:

**2.1 плотность теплоизоляционного материала, , кг/м3:** Величина, определяемая отношением массы материала ко всему занимаемому им объему, включая поры и пустоты;

**2.2 коэффициент теплопроводности, (),** **Вт/(м°С):** Количество теплоты, передаваемое за единицу времени через единицу площади изотермической поверхности при температурном градиенте, равном единице;

**2.2 расчетная теплопроводность:** Коэффициент теплопроводности теплоизоляционного материала в эксплуатационных условиях с учетом его температуры, влажности, монтажного уплотнения и наличия швов в теплоизоляционной конструкции;

**2.3 температуростойкость:**Способность материала сохранять механические свойства при повышении или понижении температуры. Характеризуется предельными температурами применения, при которых в материале обнаруживаются неупругие деформации (при повышении температуры) или разрушение структуры (при понижении температуры) под сжимающей нагрузкой;

**2.4 уплотнение теплоизоляционных материалов:** Монтажная характеристика, определяющая плотность теплоизоляционного материала после его установки в проектное положение в конструкции. Уплотнение материалов характеризуется коэффициентом уплотнения, значение которого определяется отношением объема материала или изделия к его объему в конструкции;

**2.5 теплоизоляционная конструкция:** Конструкция, состоящая из одного или нескольких слоев теплоизоляционного материала (изделия), защитно-покровного слоя и элементов крепления. В состав теплоизоляционной конструкции могут входить пароизоляционный, предохранительный и выравнивающий слои;

**2.6 многослойная теплоизоляционная конструкция:** Конструкция, состоящая из двух и более слоев различных теплоизоляционных материалов;

**2.7 покровный слой:** Элемент конструкции, устанавливаемый по наружной поверхности тепловой изоляции для защиты от механических повреждений и воздействия окружающей среды;

**2.8 пароизоляционный слой:** Элемент теплоизоляционной конструкции оборудования и трубопроводов с температурой ниже температуры окружающей среды, предохраняющий теплоизоляционный слой от проникновения в нее паров воды вследствие разности парциальных давлений пара у холодной поверхности и в окружающей среде;

**2.9 предохранительный слой:** Элемент теплоизоляционный конструкции, входящий, как правило, в состав теплоизоляционной конструкции для оборудования и трубопроводов с температурой поверхности ниже температуры окружающей среды с целью защиты пароизоляционного слоя от механических повреждений;

**2.10 температурные деформации:** Тепловое расширение или сжатие изолируемой поверхности и элементов конструкции под воздействием изменения температурных условий при монтаже и эксплуатации изолируемого объекта;

**2.12 выравнивающий слой:** Элемент теплоизоляционной конструкции, выполняемый из упругих рулонных или листовых материалов, устанавливается под мягкий покровный слой (например, из лакостеклоткани) для выравнивания формы поверхности.

# 3. Общие положения

**3.1** Теплоизоляционная конструкция должна обеспечивать параметры теплохолодоносителя при эксплуатации, нормативный уровень тепловых потерь оборудованием и трубопроводами, безопасную для человека температуру их наружных поверхностей.

**3.2** Конструкции тепловой изоляции трубопроводов и оборудования должны отвечать требованиям:

* энергоэффективности – иметь оптимальное соотношение между стоимостью теплоизоляционной конструкции и стоимостью тепловых потерь через изоляцию в течение расчетного срока эксплуатации;
* эксплуатационной надежности и долговечности - выдерживать без снижения теплозащитных свойств и разрушения эксплуатационные температурные, механические, химические и другие воздействия в течение расчетного срока эксплуатации;
* безопасности для окружающей среды и обслуживающего персонала при эксплуатации и утилизации.

Материалы, используемые в теплоизоляционных конструкциях, не должны выделять в процессе эксплуатации вредные, пожароопасные и взрывоопасные, неприятно пахнущие вещества, а также болезнетворные бактерии, вирусы и грибки, в количествах, превышающих предельно допустимые концентрации, установленные в санитарных нормах.

**3.3** При выборе материалов и изделий, входящих в состав теплоизоляционных конструкций для поверхностей с положительными температурами теплоносителя (20 °С и выше), следует учитывать следующие факторы:

* месторасположение изолируемого объекта;
* температуру изолируемой поверхности;
* температуру окружающей среды;
* требования пожарной безопасности;
* агрессивность окружающей среды или веществ, содержащихся в изолируемых объектах;
* коррозионное воздействие;
* материал поверхности изолируемого объекта;
* допустимые нагрузки на изолируемую поверхность;
* наличие вибрации и ударных воздействий;
* требуемую долговечность теплоизоляционной конструкции;
* санитарно-гигиенические требования;
* температуру применения теплоизоляционного материала;
* теплопроводность теплоизоляционного материала;
* температурные деформации изолируемых поверхностей;
* конфигурация и размеры изолируемой поверхности;
* условия монтажа (стесненность, высотность, сезонность и др.);
* условия демонтажа и утилизации.

**3.4** В состав конструкции тепловой изоляции для поверхностей с положительной температурой в качестве обязательных элементов должны входить:

* теплоизоляционный слой;
* покровный слой;
* элементы крепления.

**3.5** В зависимости от применяемых конструктивных решений в состав конструкции дополнительно могут входить:

* выравнивающий слой;
* предохранительный слой.

# 4. Требования к материалам и конструкциям тепловой изоляции

**4.1** В конструкциях теплоизоляции оборудования и трубопроводов с температурами содержащихся в них веществ в диапазоне от 20 до 300 °С для всех способов прокладки, кроме бесканальной, следует применять теплоизоляционные материалы и изделия с плотностью не более 200 кг/м3 и коэффициентом теплопроводности в сухом состоянии не более 0,06 Вт/(м  К) при средней температуре 25 °С. Допускается применение асбестовых шнуров для изоляции трубопроводов условным проходом до 50 мм включительно.

Выбор теплоизоляционного материала для конкретной конструкции осуществляется на основании технических требований, изложенных в техническом задании на проектирование тепловой изоляции.

**4.2** В качестве первого теплоизоляционного слоя многослойных конструкций теплоизоляции оборудования и трубопроводов с температурами содержащихся в них веществ в диапазоне от 300 °С и более допускается применять теплоизоляционные материалы и изделия с плотностью не более 350 кг/м3 и коэффициентом теплопроводности при средней температуре 300 °С не более 0,12 Вт/(м  К).

**4.3** В качестве второго и последующих теплоизоляционных слоев конструкций теплоизоляции оборудования и трубопроводов с температурой содержащихся в них веществ 300 °С и более для всех способов прокладки, кроме бесканальной, следует применять теплоизоляционные материалы и изделия с плотностью не более 200 кг/м3 и коэффициентом теплопроводности при средней температуре 125 °С не более 0,08 Вт/(м  К).

**4.4** Для теплоизоляционного слоя трубопроводов с положительной температурой при бесканальной прокладке следует применять материалы с плотностью не более 400 кг/м3 и теплопроводностью не более 0,07 Вт/(м  К) при температуре материала 25 °С и влажности, указанной в соответствующих государственных стандартах или технических условиях.

**4.5** При выборе теплоизоляционных материалов и покровных слоев следует учитывать стойкость элементов теплоизоляционной конструкции к химически агрессивным факторам окружающей среды, включая возможное воздействие веществ содержащихся в изолируемом объекте.

Не допускается применение теплоизоляционных материалов, содержащих органические вещества, для изоляции конструкций оборудования и трубопроводов, содержащих сильные окислители (жидкий кислород).

Для металлических покрытий должна предусматриваться антикоррозионная защита или выбираться материал, не подверженный воздействию агрессивной среды.

**4.6** В конструкциях тепловой изоляции, предназначенных для обеспечения заданной температуры на поверхности изоляции, в качестве покровного слоя рекомендуется применять материалы со степенью черноты не ниже 0,9 (с коэффициентом излучения не ниже 5,0 Вт/(м2  К4).

**4.7** Тепловая изоляция трубопроводов и оборудования должна обеспечивать безусловное выполнение требований безопасности и защиты окружающей среды.

Для трубопроводов надземной прокладки при применении теплоизоляционных конструкций из горючих материалов группы Г3 и Г4, следует предусматривать:

* вставки длиной 3 м из негорючих материалов не более чем через 100 м длины трубопровода;
* участки теплоизоляционных конструкций из негорючих материалов на расстоянии не менее 5 м от технологических установок, содержащих горючие газы и жидкости.

При пересечении трубопроводом противопожарной преграды следует предусматривать теплоизоляционные конструкции из негорючих материалов в пределах размера противопожарной преграды.

При применении конструкций теплопроводов в тепловой изоляции из горючих материалов в негорючей оболочке допускается не делать противопожарные вставки.

Требования к пожарной безопасности теплоизоляционных конструкций трубопроводов тепловых сетей определяются по СП 124.13330.

**4.8** Для элементов оборудования и трубопроводов, требующих в процессе эксплуатации систематического наблюдения, следует предусматривать сборно-разборные съемные теплоизоляционные конструкции.

Съемные теплоизоляционные конструкции должны применяться для изоляции люков, фланцевых соединений, арматуры и компенсаторов трубопроводов, а также в местах измерений и проверки состояния изолируемых поверхностей.

# 5 Проектирование тепловой изоляции по нормированной плотности теплового потока

## 5.1 Определение толщины теплоизоляционного слоя по нормированной плотности теплового потока

**5.1.1** Нормы плотности теплового потока через изолированную поверхность объектов, расположенных в Европейском регионе России, для оборудования и трубопроводов с положительными температурами, расположенных на открытом воздухе – по таблицам 1 и 2;

**Таблица 1** –­ Нормы плотности теплового потока оборудования и трубопроводов с положительными температурами при расположении на открытом воздухе и числе часов работы более 5000

| Условный проход трубопровода, мм | Температура теплоносителя, °С | | | | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 20 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 |
| Плотность теплового потока, Вт/м | | | | | | | | | | | | |
| 15 | 4 | 9 | 17 | 25 | 35 | 45 | 56 | 68 | 81 | 94 | 109 | 124 | 140 |
| 20 | 4 | 10 | 19 | 28 | 39 | 50 | 62 | 75 | 89 | 103 | 119 | 135 | 152 |
| 25 | 5 | 11 | 20 | 31 | 42 | 54 | 67 | 81 | 95 | 111 | 128 | 145 | 163 |
| 40 | 5 | 12 | 23 | 35 | 47 | 60 | 75 | 90 | 106 | 123 | 142 | 161 | 181 |
| 50 | 6 | 14 | 26 | 38 | 51 | 66 | 81 | 98 | 115 | 133 | 153 | 173 | 195 |
| 65 | 7 | 16 | 29 | 43 | 58 | 74 | 90 | 108 | 127 | 147 | 169 | 191 | 214 |
| 80 | 8 | 17 | 31 | 46 | 62 | 78 | 96 | 115 | 135 | 156 | 179 | 202 | 226 |
| 100 | 9 | 19 | 34 | 50 | 67 | 85 | 104 | 124 | 146 | 168 | 192 | 217 | 243 |
| 125 | 10 | 21 | 38 | 55 | 74 | 93 | 114 | 136 | 159 | 183 | 208 | 235 | 263 |
| 150 | 11 | 23 | 42 | 61 | 80 | 101 | 132 | 156 | 182 | 209 | 238 | 267 | 298 |
| 200 | 14 | 28 | 50 | 72 | 95 | 119 | 154 | 182 | 212 | 242 | 274 | 308 | 343 |
| 250 | 16 | 33 | 57 | 82 | 107 | 133 | 173 | 204 | 236 | 270 | 305 | 342 | 380 |
| 300 | 18 | 37 | 64 | 91 | 118 | 147 | 191 | 224 | 259 | 296 | 333 | 373 | 414 |
| 350 | 22 | 45 | 77 | 108 | 140 | 173 | 208 | 244 | 281 | 320 | 361 | 403 | 446 |
| 400 | 25 | 49 | 84 | 117 | 152 | 187 | 223 | 262 | 301 | 343 | 385 | 430 | 476 |
| 450 | 27 | 54 | 91 | 127 | 163 | 200 | 239 | 280 | 322 | 365 | 410 | 457 | 505 |
| 500 | 30 | 58 | 98 | 136 | 175 | 215 | 256 | 299 | 343 | 389 | 436 | 486 | 537 |
| 600 | 34 | 67 | 112 | 154 | 197 | 241 | 286 | 333 | 382 | 432 | 484 | 537 | 593 |
| 700 | 38 | 75 | 124 | 170 | 217 | 264 | 313 | 364 | 416 | 470 | 526 | 583 | 642 |
| 800 | 43 | 83 | 137 | 188 | 238 | 290 | 343 | 397 | 453 | 511 | 571 | 633 | 696 |
| 900 | 47 | 91 | 150 | 205 | 259 | 315 | 372 | 430 | 490 | 552 | 616 | 681 | 749 |
| 1000 | 52 | 100 | 163 | 222 | 281 | 340 | 400 | 463 | 527 | 592 | 660 | 729 | 801 |
| 1400 | 70 | 133 | 215 | 291 | 364 | 439 | 514 | 591 | 670 | 750 | 833 | 918 | 1098 |
| Более 1400 и плоские поверхности | Плотность теплового потока, Вт/м2 | | | | | | | | | | | | |
| 15 | 27 | 41 | 54 | 66 | 77 | 89 | 100 | 110 | 134 | 153 | 174 | 192 |

**Таблица 2** –­ Нормы плотности теплового потока оборудования и трубопроводов с положительными температурами при расположении на открытом воздухе и числе часов работы 5000 и менее

| Условный проход трубопровода, мм | Температура теплоносителя, °С | | | | | | | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 20 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 |
| Плотность теплового потока, Вт/м | | | | | | | | | | | | |
| 15 | 4 | 10 | 18 | 28 | 38 | 49 | 61 | 74 | 87 | 102 | 117 | 133 | 150 |
| 20 | 5 | 11 | 21 | 31 | 42 | 54 | 67 | 81 | 96 | 112 | 128 | 146 | 164 |
| 25 | 5 | 12 | 23 | 34 | 46 | 59 | 73 | 88 | 104 | 120 | 138 | 157 | 176 |
| 40 | 6 | 14 | 26 | 39 | 52 | 67 | 82 | 99 | 116 | 135 | 154 | 174 | 196 |
| 50 | 7 | 16 | 29 | 43 | 57 | 73 | 90 | 107 | 126 | 146 | 167 | 189 | 212 |
| 65 | 8 | 18 | 33 | 48 | 65 | 82 | 100 | 120 | 141 | 162 | 185 | 209 | 234 |
| 80 | 9 | 20 | 36 | 52 | 69 | 88 | 107 | 128 | 150 | 172 | 197 | 222 | 248 |
| 100 | 10 | 22 | 39 | 57 | 76 | 96 | 116 | 139 | 162 | 187 | 212 | 239 | 267 |
| 125 | 12 | 25 | 44 | 63 | 84 | 113 | 137 | 162 | 189 | 216 | 245 | 276 | 307 |
| 150 | 13 | 27 | 48 | 70 | 92 | 123 | 149 | 176 | 205 | 235 | 266 | 298 | 332 |
| 200 | 16 | 34 | 59 | 83 | 109 | 146 | 176 | 207 | 240 | 274 | 310 | 347 | 385 |
| 250 | 19 | 39 | 67 | 95 | 124 | 166 | 199 | 234 | 270 | 307 | 346 | 387 | 429 |
| 300 | 22 | 44 | 76 | 106 | 138 | 184 | 220 | 258 | 297 | 338 | 380 | 424 | 469 |
| 350 | 27 | 54 | 92 | 128 | 164 | 202 | 241 | 282 | 324 | 368 | 413 | 460 | 508 |
| 400 | 30 | 60 | 100 | 139 | 178 | 219 | 260 | 304 | 349 | 395 | 443 | 493 | 544 |
| 450 | 33 | 65 | 109 | 150 | 192 | 235 | 280 | 326 | 373 | 422 | 473 | 526 | 580 |
| 500 | 36 | 71 | 118 | 162 | 207 | 253 | 300 | 349 | 399 | 451 | 505 | 561 | 618 |
| 600 | 42 | 82 | 135 | 185 | 235 | 285 | 338 | 391 | 447 | 504 | 563 | 624 | 686 |
| 700 | 47 | 91 | 150 | 204 | 259 | 314 | 371 | 429 | 489 | 551 | 614 | 679 | 746 |
| 800 | 53 | 102 | 166 | 226 | 286 | 346 | 407 | 470 | 535 | 602 | 670 | 740 | 812 |
| 900 | 59 | 112 | 183 | 248 | 312 | 377 | 443 | 511 | 581 | 652 | 725 | 800 | 877 |
| 1000 | 64 | 123 | 199 | 269 | 339 | 408 | 479 | 552 | 626 | 702 | 780 | 860 | 941 |
| 1400 | 87 | 165 | 264 | 355 | 444 | 532 | 621 | 712 | 804 | 898 | 995 | 1092 | 1193 |
| Более 1400 и плоские поверхности | Плотность теплового потока, Вт/м2 | | | | | | | | | | | | |
| 19 | 35 | 54 | 70 | 85 | 99 | 112 | 125 | 141 | 158 | 174 | 191 | 205 |

**Примечание** – Промежуточные значения норм плотности теплового потока следует определять интерполяцией.

Нормы плотности теплового потока для толстостенных металлических трубопроводов следует принимать по условному диаметру, соответствующему стандартным трубам того же наружного диаметра.

**5.1.2** При расположении изолируемых объектов в других регионах страны следует учитывать изменение стоимости теплоты в зависимости от района строительства и способа прокладки трубопровода (места установки оборудования):

нормы плотности теплового потока для плоской и цилиндрической поверхностей с условным проходом более 1400 мм, *qreg*, определяются по формуле

,                                                                   (1)

нормы плотности теплового потока для цилиндрической поверхности с условным проходом 1400 мм и менее, , определяются по формуле

,                                                                 (2)

где *q* – нормированная поверхностная плотность теплового потока, Вт/м2, принимаемая по таблице 1;

*ql* – нормированная линейная плотность теплового потока (на 1 м длины цилиндрического объекта), Вт/м, принимаемая по таблицам1;

*K* – коэффициент, учитывающий изменение стоимости теплоты и теплоизоляционной конструкции в зависимости от района строительства и способа прокладки трубопровода (места установки оборудования), (см. таблицу 3).

**Таблица 3** – Значение коэффициента, учитывающего изменение стоимости теплоты и теплоизоляционной конструкции

|  |  |
| --- | --- |
| Район строительства | Коэффициент К при способе прокладки трубопроводов на открытом воздухе |
| Европейская часть России | 1 |
| Урал | 0,98 |
| Западная Сибирь | 0,98 |
| Восточная Сибирь | 0,98 |
| Дальний Восток | 0,96 |
| Районы Крайнего Севера и приравненные к ним местности | 0,96 |

**5.1.3** Расчетные характеристики теплоизоляционных материалов и изделий, применяемых для изоляции оборудования и трубопроводов надземной и подземной прокладок, следует принимать с учетом плотности в конструкции, влажности в условиях эксплуатации, швов и влияния мостиков холода элементов крепления.

Коэффициент теплопроводности уплотняющихся материалов при оптимальной плотности в конструкции следует принимать по данным сертификационных испытаний или по данным, приведенным в таблице 4.

**Таблица 4 –**Расчетные технические характеристики теплоизоляционных материалов и изделий

| Материал, изделие | Средняя плотность в конструкции, кг/м3 | Теплопроводность теплоизоляционного материала в конструкции из, 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 |  |  |
| Полуцилиндры и цилиндры минераловатные | 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 | » |
| 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 | » |
| **Примечания**  1 Средняя температура теплоизоляционного слоя, °С:  *tm* =(*tв* + 40)/2 - на открытом воздухе в летнее время, в помещении, в каналах, тоннелях, технических подпольях, на чердаках и в подвалах зданий;  *tm* = *tв*/2 - на открытом воздухе, воздухе в зимнее время, где *tв* - 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. | | | | | |

**5.1.4** За расчетную температуру окружающей среды при расчетах по нормированной плотности теплового потока для технологического оборудования и трубопроводов следует принимать – среднюю за год;

**5.1.5**Температуру теплоносителя технологического оборудования и трубопроводов при расчетах по нормированной плотности теплового потока следует принимать в соответствии с заданием на проектирование.

## 5.2 Определение толщины изоляции

**5.2.1** Расчетные параметры принимают в соответствии с 5.1.4. При определении толщины тепловой изоляции следует учитывать влияние опор трубопроводов и оборудования.

**5.2.2** Теплоизоляционную конструкцию с теплоизоляционным слоем из однородного материала, установленного в несколько слоев, при расчетах рассматривают как однослойную.

Расчет толщины теплоизоляционного слоя конструкции, состоящей из двух и более слоев разнородных материалов, следует проводить исходя из того, что межслойная температура не превышает максимальную температуру применения теплоизоляционного материала последующих слоев. Толщину каждого слоя рассчитывают отдельно.

**5.2.3** Расчетную толщину теплоизоляционного слоя в конструкциях тепловой изоляции на основе волокнистых материалов и изделий (матов, плит, холстов) следует округлять до значений кратных 10 мм.

Если расчетная толщина теплоизоляционного слоя не совпадает с номенклатурной толщиной выбранного материала, следует принимать по действующей номенклатуре ближайшую более высокую толщину теплоизоляционного материала.

Допускается принимать ближайшую более низкую толщину теплоизоляционного слоя в случаях расчета по температуре на поверхности изоляции и нормам плотности теплового потока, если разница между расчетной и номенклатурной толщиной не превышает 3 мм.

**5.2.4** Предельная толщина теплоизоляционного слоя в конструкциях тепловой изоляции трубопроводов приведена в таблице 5.

Если расчетная толщина больше, чем может обеспечить в соответствии с таблицей 5, выбранный теплоизоляционный материал, следует применить более эффективный теплоизоляционный материал.

Применение конструкций с большей толщиной теплоизоляционного слоя требует технического обоснования.

**Таблица 5 –**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. | | | | | | |

# 6 Методы расчета тепловой изоляции оборудования и трубопроводов

## 6.1 Расчетные формулы стационарной теплопередачи в теплоизоляционных конструкциях

Поверхностная плотность теплового потока через плоские поверхности рассчитывается по формулам:

однослойная плоская стенка

0123A10B1DE05946

                                         (6.1)

многослойная плоская стенка из *п* слоев

123A10B1DE05946                                          (6.2)

Линейная плотность теплового потока через цилиндрические поверхности рассчитывается по формулам:

однослойная цилиндрическая стенка

23A10B1DE05946                                        (6.3)

многослойная цилиндрическая стенка из *п* слоев

                                     (6.4)

где *qF* – поверхностная плотность теплового потока через плоскую теплоизоляционную конструкцию, Вт/м2;

*t*в – температура среды внутри изолируемого объекта, °С;

*t*н – температура окружающей среды, °С;

*R*вн – сопротивление теплоотдаче на внутренней поверхности стенки изолируемого объекта, м2°С/Вт;

*R*н – то же, на наружной поверхности теплоизоляции, м2  °С/Вт;

*R*ст – термическое сопротивление стенки изолируемого объекта, м2  °С/Вт;

*R*из – то же, плоского слоя изоляции, м2  °С/Вт;

 – полное термическое сопротивление *n*-слойной плоской изоляции;

*Ri* – термическое сопротивление *i*-го слоя, м2  °С/Вт;

*qL* – линейная плотность теплового потока через цилиндрическую теплоизоляционную конструкцию, Вт/м;

 – линейное термическое сопротивление теплоотдаче внутренней стенки изолируемого объекта, м°С/Вт;

 – то же, наружной изоляции, м  °С/Вт;

 – линейное термическое сопротивление цилиндрической стенки изолируемого объекта, м  °С/Вт;

 – то же, цилиндрического слоя изоляции, м  °С/Вт;

 – полное линейное термическое сопротивление *n*-слойной цилиндрической изоляции;

 – линейное термическое сопротивление *i*-го слоя, м  °С/Вт.

В уравнениях (6.1) - (6.4) сопротивления теплоотдаче и термические сопротивления стенок определяются по формулам:

; ; ; ; ;                            (6.5)

; ;;                      (6.6)

; ;                           (6.7)

где вн, н – коэффициенты теплоотдачи внутренней поверхности стенки изолируемого объекта и наружной поверхности изоляции, Вт/(м2  °С);

ст, из, *i* – коэффициенты теплопроводности соответственно материала стенки изолируемого объекта однослойной изоляции, изоляции *i*-го слоя *n*-слойной изоляции, Вт/(м  °С);

ст, из, *i* – толщина соответственно стенки изолируемого объекта, однослойной изоляции *i*-го слоя *n*-слойной изоляции, м;

,  – внутренний и наружный диаметры стенки изолируемого объекта, м;

 – наружный диаметр изоляции, м;

*d*н, *d*вн – 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:

; ;                                (6.8)

температура  на наружной поверхности первого слоя изоляции, на границе первого и второго слоев

;                                                  (6.9)

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

;                                             (6.10)

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

                                                  (6.11)

Распределение температур в цилиндрических многослойных изоляционных конструкциях рассчитывается по формулам:

; ;                                (6.12)

                                                 (6.13)

                                              (6.14)

.                                                   (6.15)

Значения поверхностной и линейной плотности тепловых потоков, входящих в формулы (6.8)-(6.15), определяются по (6.1)-(6.4), а термические сопротивления – по (6.5)-(6.7).

При расчете многослойных конструкций по формулам (6.2), (6.4) 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 *qF* или *qL* и по (6.8)-(6.11) для плоской и по (6.12)-(6.15) 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.

## 6.2 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

;                                                    (6.16)

для трубопроводов диаметром менее 2 м

.                                              (6.17)

где *K* – коэффициент дополнительных потерь, учитывающий теплопотери через теплопроводные включения в теплоизоляционных конструкциях, обусловленных наличием в них крепежных деталей и опор (таблица 6).

 – полное термическое сопротивление *n*-слойной плоской изоляции;

 – полное линейное термическое сопротивление *n*-слойной цилиндрической изоляции;

– сопротивление теплоотдаче наружной изоляции, м  °С/Вт;

*R*н–сопротивление теплоотдаче на наружной поверхности теплоизоляции, м2  °С/Вт;

*t*в – температура среды внутри изолируемого объекта, °С;

*t*н – температура окружающей среды, °С.

**Таблица 6** – Значения коэффициента дополнительных потерь для трубопроводов

| Тип изолируемого объекта | Коэффициент *K* |
| --- | --- |
| 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 (6.16), (6.17) определяется по формулам (6.5), (6.6), в которых теплопроводность изоляции принимается по таблице 4, а коэффициент теплоотдачи на поверхности изоляции – по таблице 7.

**Таблица 7 –**Значения коэффициента теплоотдачи , Вт/(м2  оС)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Изолированный объект | На открытом воздухе при скорости ветра3, м/с | | |
|
| 5 | 10 | 15 |
| Горизонтальные трубопроводы | 20 | 26 | 35 |
| Вертикальные трубопроводы, оборудование, плоская стенка | 26 | 35 | 52 |

**Примечания:**

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.

**Расчет толщины тепловой изоляции по нормированной плотности теплового потока**

Расчет толщины тепловой изоляции по нормированной плотности теплового потока – ,  для однослойных конструкций выполняется по следующим формулам.

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

;                                           (6.18)

0123A10B1DE05946

где *K* – коэффициент дополнительных потерь, учитывающий теплопотери через теплопроводные включения в теплоизоляционных конструкциях;

из, – коэффициенты теплопроводности однослойной изоляции, Вт/(м  °С);

из, – толщина однослойной изоляции, м;

 – нормированная плотность теплового потока;

*R*н – сопротивление теплоотдаче на наружной поверхности теплоизоляции, м2  °С/Вт;

*t*в – температура среды внутри изолируемого объекта, °С;

*t*н – температура окружающей среды, °С.

**Таблица 8** – Ориентировочные значения , м  °С/Вт

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Условный диаметр трубы, мм | На открытом воздухе | | |
|
| при температуре теплоносителя, °С | | |
| 100 | 300 | 500 |
| 32 | 0,12 | 0,09 | 0,07 |
| 40 | 0,1 | 0,07 | 0,05 |
| 50 | 0,09 | 0,06 | 0,04 |
| 100 | 0,07 | 0,05 | 0,04 |
| 125 | 0,05 | 0,04 | 0,03 |
| 150 | 0,05 | 0,04 | 0,03 |
| 200 | 0,04 | 0,03 | 0,03 |
| 250 | 0,03 | 0,03 | 0,02 |
| 300 | 0,03 | 0,02 | 0,02 |
| 350 | 0,03 | 0,02 | 0,02 |
| 400 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| 500 | 0,02 | 0,02 | 0,016 |
| 600 | 0,017 | 0,015 | 0,014 |
| 700 | 0,015 | 0,013 | 0,012 |
| 800 | 0,013 | 0,012 | 0,011 |
| 900 | 0,012 | 0,011 | 0,01 |
| 1000 | 0,011 | 0,01 | 0,009 |
| 2000 | 0,006 | 0,006 | 0,005 |
| **Примечания**   1. Для промежуточных значений диаметров и температуры величина  определяется интерполяцией. 2. Для температуры теплоносителя ниже 100 °С принимаются данные, соответствующие 100 °С. | | | |

Для однослойных цилиндрических поверхностей диаметром менее 2 м используется формула0123A10B1DE05946

                                        (6.19)

где *K* – коэффициент дополнительных потерь, учитывающий теплопотери через теплопроводные включения в теплоизоляционных конструкциях;

из, – коэффициенты теплопроводности однослойной изоляции, Вт/(м °С);

 – сопротивление теплоотдаче наружной изоляции, м  °С/Вт;

*t*в – температура среды внутри изолируемого объекта, °С;

*t*н – температура окружающей среды, °С;

 – нормированная плотность теплового потока.

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 (6.19) предварительно определяют величину ln*B*, где Приближенные значения  принимаются по таблице 10.

Затем находят величину *В* и определяют требуемую толщину изоляции по формуле

.                                                 (6.20)

где – наружный диаметры стенки изолируемого объекта, м.

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

                                            (6.21)

0123A10B1DE05946

где из – коэффициенты теплопроводности однослойной изоляции, Вт/(м  °С);

*t*в – температура среды внутри изолируемого объекта, °С;

 – нормированная плотность теплового потока.

Для второго слоя применяется формула (6.18), в которую вместо значения *t*в подставляется *t*1,2.

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

                                          (6.22)

0123A10B1DE05946

гдеиз, – коэффициенты теплопроводности однослойной изоляции, Вт/(м  °С);

*t*в - температура среды внутри изолируемого объекта, °С;

 – нормированная плотность теплового потока.

в котором , определяют величину ln*B*1, затем находят *В*1 и толщину первого слоя, м:

.

Толщина второго слоя определяется с помощью формулы (6.19), в которой вместо значения *t*в подставляется значение *t*1,2, а вместо *В* - *В*2

Определив ln*B*2 находят *B*2, а затем толщину изоляции второго слоя, м:

.                                            (6.23)

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 0, м, определяемой требуемой точностью расчета, например, 0,001 м, с помощью последовательных шагов 1, 2, 3, 4, ..., *i* для толщины изоляции: 1 = 01; 2 = 02; 3 = 03, ..., *i* = 0*i* производят вычисление линейной плотности тепловых потоков image053 image054 ...; image055 по уравнению

.                                  (6.24)

0123A10B1DE05946

где н – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности изоляции, Вт/(м2  °С);

из, – коэффициенты теплопроводности однослойной изоляции, Вт/(м  °С);

*t*в – температура среды внутри изолируемого объекта, °С;

 – внутренний и наружный диаметры стенки изолируемого объекта, м.

На каждом шаге вычислений *i* производится сравнение  с заданным значением нормативного удельного потока При выполнении условия

                                                      (6.25)

вычисления заканчиваются, а найденная величина  = 0*i* является искомой, обеспечивающей заданную величину тепловых потерь.

Расчетные параметры при определении толщины изоляции по нормируемой плотности теплового потока следует принимать по 5.1.1-5.1.5.

# Исходные данные для расчетной работы

Исходные данные для выполнения расчетной работы выбираются с учетом порядкового номера студента в журнале по следующей таблице:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Порядковый номер | Изолируемый объект | Температура внутри, °С | Расчетная температура воздуха, °С | Расчетная скорость ветра, м/сек |
| 1 | РВС 1000 | 90 | +20 | 5 |
| 2 | РГС 50 | 150 | +20 | 5 |
| 3 | Трубопровод Ду65 | 140 | +20 | 5 |
| 4 | Трубопровод Ду80 | 100 | +20 | 5 |
| 5 | РВС 1000 | 110 | +25 | 5 |
| 6 | РГС 50 | 140 | +25 | 5 |
| 7 | Трубопровод Ду65 | 150 | +25 | 5 |
| 8 | Трубопровод Ду80 | 110 | +25 | 5 |
| 9 | РВС 1000 | 120 | +15 | 10 |
| 10 | РГС 50 | 120 | +15 | 10 |
| 11 | Трубопровод Ду65 | 120 | +15 | 10 |
| 12 | Трубопровод Ду80 | 120 | +15 | 10 |
| 13 | РВС 1000 | 100 | +30 | 10 |
| 14 | РГС 50 | 150 | +30 | 10 |
| 15 | Трубопровод Ду65 | 150 | +30 | 10 |
| 16 | Трубопровод Ду80 | 150 | +30 | 10 |
| 17 | РВС 1000 | 120 | +20 | 10 |
| 18 | РГС 50 | 150 | +20 | 10 |
| 19 | Трубопровод Ду65 | 140 | +20 | 10 |
| 20 | Трубопровод Ду80 | 140 | +20 | 10 |
| 21 | РВС 2000 | 120 | +35 | 15 |
| 22 | РГС 50 | 120 | +35 | 15 |
| 23 | Трубопровод Ду65 | 140 | +35 | 10 |
| 24 | Трубопровод Ду80 | 140 | +35 | 10 |
| 25 | РВС 2000 | 150 | +10 | 10 |
| 26 | РГС 50 | 150 | +10 | 5 |
| 27 | Трубопровод Ду65 | 180 | +10 | 5 |
| 28 | Трубопровод Ду80 | 180 | +10 | 5 |
| 29 | Трубопровод Ду65 | 160 | +10 | 5 |
| 30 | Трубопровод Ду80 | 160 | +15 | 5 |