ПРОЕКТ

	МЕЖПРАВИТЕЛЬСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СОТРУДНИЧЕСТВУ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТРАН СОДРУЖЕСТВА НЕЗАВИСИМЫХ ГОСУДАРСТВ
	Система межгосударственных нормативных документов в строительстве **МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ НОРМЫ**
Цветная полоса шириной -4 см: для МСН – синяя; для МСП- зеленая	**ТЕПЛОВАЯ ИЗОЛЯЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ** **МСН XXX** Издание официальное
	МЕЖГОСУДАРСТВЕННАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ НОРМИРОВАНИЮ, СТАНДАРТИЗАЦИИ И ОЦЕНКЕ СООТВЕТСТВИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ (МНТКС) Москва 2011

gost.e-ecolog.ru

1 РАЗРАБОТАНЫ Рабочей группой Межгосударственной научно-технической комиссии по техническому нормированию, стандартизации и оценке соответствия в строительстве (МНТКС)

2. ВНЕСЕНЫ Секретариатом МНТКС

3 СОГЛАСОВАНЫ в рамках МНТКС (протокол № от). За утверждение проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004-97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004-97	Сокращенное наименование органа государственного управления строительством
Азербайджан	AZ	Госстрой
Армения	AM	Министерство градостроительства
Беларусь	BY	Минстройархитектуры
Казахстан	KZ	Агентство по делам строительства и ЖКХ
Киргизия	KG	Госстрой
Молдова	MD	Минрегионразвития
Россия	RU	Минрегион
Таджикистан	TJ	Агентство по строительству и архитектуре при Правительстве Республики Таджикистан
Туркменистан	TM	
Узбекистан	UZ	Госархитектстрой
Украина	UA	Минрегионстрой

4. УТВЕРЖДЕНЫ ДЛЯ ВВЕДЕНИЯ в действие не позднее _____г.решением _____ заседания Межправительственного совета по сотрудничеству в строительной деятельности стран СНГ № от « » _____ года.

5 ВЗАМЕН (указывается обозначение действующего МСН)

6. (Пункт вносится при введении документа в действие на территории государства). ВВЕДЕНЫ в действие на территории (указывается наименование государства, срок введения, наименование органа власти и вид документа, которым введен в действие МСН, его дата и номер) в качестве национального (указывается вид национального нормативного документа).

Настоящий документ не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Секретариата Межгосударственной научно-технической комиссии по техническому нормированию, стандартизации и оценке сертификации в строительстве.

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ НОРМЫ

ТЕПЛОВАЯ ИЗОЛЯЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ

Designing of thermal insulation of equipment and pipe lines

Дата введения 2012-…-…

Введение

Межгосударственные строительные нормы (МСН) являются документами обязательными в рамках системы межгосударственных нормативных документов и устанавливает требования к проектированию тепловой изоляции оборудования и трубопроводов.

В межгосударственных строительных нормах на основе и в развитие установленных в наиболее общем виде существенных требований Технического регламента ЕврАзЭС «О безопасности зданий и сооружений, строительных материалов и изделий» приводятся требования по безопасности для окружающей среды, энергоэффективности, эксплуатационной надежности и долговечности тепловой изоляции оборудования и трубопроводов,в результате выполнения которых будут реализованы цели Технического регламента.

1 Область применения

Настоящие нормы следует соблюдать при проектировании тепловой изоляции наружной поверхности оборудования, трубопроводов, газоходов и воздуховодов, расположенных в зданиях, сооружениях и на открытом воздухе с температурой содержащихся в них веществ от минус 180 до 600 °С, в том числе трубопроводов тепловых сетей при всех способах прокладки и предназначенной для обеспечения их эксплуатационной надежности, безопасной эксплуатации и необходимого уровня энергосбережения. При проектировании необходимо соблюдать требования к тепловой изоляции, содержащиеся в нормах технологического проектирования и других нормативных документах, действующих на территории стран-членов ЕврАзЭС.

Настоящие нормы не распространяется на проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов, содержащих и транспортирующих взрывчатые вещества, изотермических хранилищ сжиженных газов, зданий и помещений для производства и хранения взрывчатых веществ, атомных станций и установок.

2 Нормативные ссылки

Перечень нормативных документов, на которые приведены ссылки, дан в приложении А.

3 Термины и определения

Плотность теплоизоляционного материала, ρ, кг/м^3 – величина, определяемая отношением массы материала ко всему занимаемому им объему, включая поры и пустоты.

Коэффициент теплопроводности, (λ), Вт/(м·°С) – количество теплоты, передаваемое за единицу времени через единицу площади изотермической поверхности при температурном градиенте, равном единице.

Расчетная теплопроводность – коэффициент теплопроводности теплоизоляционного материала в эксплуатационных условиях с учетом его температуры, влажности, монтажного уплотнения и наличия швов в теплоизоляционной конструкции.

Паропроницаемость, μ, мг/(м·ч·Па) – способность материала пропускать водяные пары, содержащиеся в воздухе, под действием разности их парциальных давлений на противоположных поверхностях слоя материала.

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.

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.

Теплоизоляционная конструкция – это 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.

Многослойная теплоизоляционная конструкция – это конструкция, состоящая из двух и более слоев различных теплоизоляционных материалов.

Покровный слой – элемент конструкции, устанавливаемый по наружной поверхности тепловой изоляции для защиты от механических повреждений и воздействия окружающей среды.

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.

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.

Температурные деформации – тепловое расширение или сжатие изолируемой поверхности и элементов конструкции под воздействием изменения температурных условий при монтаже и эксплуатации изолируемого объекта.

Выравнивающий слой – элемент теплоизоляционный конструкции выполняемый из упругих рулонных или листовых материалов, устанавливается под мягкий покровный слой (например из лакостеклоткани) для выравнивания формы поверхности.

4 Общие положения

4.1 Теплоизоляционная конструкция должна обеспечивать требуемые параметры тепло-холодоносителя при эксплуатации, нормативный уровень тепловых потерь оборудованием и трубопроводами, безопасную для человека температуру их наружных поверхностей.

4.2 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 др. воздействия в течение расчетного срока эксплуатации;
- безопасности для окружающей среды и обслуживающего персонала при эксплуатации.

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

4.3 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.).

Теплоизоляционная конструкция трубопроводов тепловых сетей подземной бесканальной прокладки должна выдерживать без разрушения:

- воздействие грунтовых вод;

- нагрузки от массы вышележащего грунта и проходящего транспорта.

При выборе теплоизоляционных материалов и конструкций для поверхностей с температурой теплоносителя 19 °С и ниже и отрицательной дополнительно следует учитывать относительную влажность окружающего воздуха, а также влажность и паропроницаемость теплоизоляционного материала.

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

- теплоизоляционный слой;
- покровный слой;
- элементы крепления.

4.5 В состав конструкции тепловой изоляции для поверхностей с отрицательной температурой в качестве обязательных элементов должны входить:

- теплоизоляционный слой;
- пароизоляционный слой;
- покровный слой;
- элементы крепления.

Пароизоляционный слой следует предусматривать при температуре изолируемой поверхности ниже 12 °С. Необходимость устройства пароизоляционного слоя при температуре выше 12 °С следует предусматривать для оборудования и трубопроводов с температурой ниже температуры окружающей среды, если расчетная температура изолируемой поверхности ниже температуры "точки росы" при расчетном давлении и влажности окружающего воздуха.

Необходимость установки пароизоляционного слоя в конструкции тепловой изоляции для поверхностей с переменным температурным режимом (от + к – и наоборот) определяется расчетом для исключения накопления влаги в теплоизоляционной конструкции.

Антикоррозионные покрытия изолируемой поверхности не входят в состав теплоизоляционных конструкций.

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

- выравнивающий слой;
- предохранительный слой.

Предохранительный слой следует предусматривать при применении металлического покровного слоя для предотвращения повреждения пароизоляционных материалов.

5 Требования к материалам и конструкциям тепловой изоляции

5.1 В конструкциях теплоизоляции оборудования и трубопроводов с температурами содержащихся в них веществ в диапазоне от 20 °С до 300 °С для всех способов прокладки, кроме бесканальной, следует применять теплоизоляционные материалы и изделия с плотностью не более 200 кг/м^3 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.

5.2 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/м^3 и коэффициентом теплопроводности при средней температуре 300 °С не более 0,12 Вт/(м·К).

5.3 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/м^3 и коэффициентом теплопроводности при средней температуре 125 °С не более 0,08 Вт/(м·К).

5.4 Для теплоизоляционного слоя трубопроводов с положительной температурой при бесканальной прокладке следует применять материалы с плотностью не более 400 кг/м^3 и теплопроводностью не более 0,07 Вт/(м·К) при температуре материала 25°С и влажности, указанной в соответствующих государственных стандартах или технических условиях.

5.5 Для теплоизоляционного слоя оборудования и трубопроводов с отрицательными температурами следует применять теплоизоляционные материалы и изделия с плотностью не более 200 кг/м^3 и расчетной теплопроводностью в конструкции не более 0,05 Вт/(м·К) при температуре веществ минус 40 °С и выше и не более 0,04 Вт/(м·К) - при минус 40 °С.

При выборе материала теплоизоляционного слоя, поверхности с температурой от 19 до 0 °С следует относить к поверхностям с отрицательными температурами.

5.6 Соответствие материалов, применяемых в качестве теплоизоляционного и покровного слоев в составе теплоизоляционных конструкций оборудования и трубопроводов требованиям к качеству продукции, санитарно-гигиеническим требованиям и требованиям пожарной безопасности должно быть подтверждено результатами испытаний, выполненных аккредитованными организациями.

5.7 Конструкция тепловой изоляции трубопроводов при бесканальной прокладке должна обладать прочностью на сжатие не менее 0,4 МПа.

При бесканальной прокладке тепловых сетей следует преимущественно применять предварительно изолированные в заводских условиях трубы с тепловой изоляцией в гидроизоляционной оболочке. При выборе теплоизоляционной конструкции следует учитывать допустимую температуру применения теплоизоляционного материала и температурный график работы тепловой сети.

Применение засыпной изоляции трубопроводов при подземной прокладке в каналах и бесканально не допускается.

5.8 При бесканальной прокладке предварительно изолированные трубопроводы с изоляцией из пенополиуретана в полиэтиленовой оболочке должны быть снабжены системой оперативного дистанционного контроля влажности изоляции (ОДК).

5.9 Не допускается применять асбестосодержащие теплоизоляционные материалы для конструкций тепловой изоляции оборудования и трубопроводов с отрицательными температурами содержащихся в них веществ, и для изоляции трубопроводов подземной прокладки в непроходных каналах.

5.10 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.

5.11 Для оборудования и трубопроводов, подвергающихся ударным воздействиям и вибрации, рекомендуется применять теплоизоляционные изделия на основе базальтового супертонкого или асбестового волокна или другие материалы, вибростойкость которых в условиях эксплуатации подтверждена результатами испытаний, выполненных аккредитованными организациями.

Для объектов, подвергающихся вибрации, при применении штукатурных защитных покрытий следует предусматривать оклейку штукатурного защитного покрытия с последующей окраской.

5.12 При проектировании объектов с повышенными санитарно-гигиеническими требованиями к содержанию пыли в воздухе помещений в конструкциях теплоизоляции не допускается применение материалов, загрязняющих воздух в помещениях.

Рекомендуется применение теплоизоляционных изделий на основе тонких и супертонких минеральных (базальтовых и стеклянных) волокон, изделий из супертонкого минерального волокна в обкладках со всех сторон из стеклянной или кремнеземной ткани и под герметичным защитным покрытием или других материалов, соответствие которых, указанным санитарно-гигиеническим требованиям подтверждено результатами испытаний, выполненных аккредитованными организациями.

5.13 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 $Вт/(м^2 \cdot К^4)$).

5.14 Не допускается применение металлического покровного слоя при подземной бесканальной прокладке и прокладке трубопроводов в непроходных каналах.

Покровный слой из тонколистового металла с наружным полимерным покрытием не допускается применять в местах, подверженных прямому воздействию солнечных лучей.

5.15 Покровный слой допускается не предусматривать в теплоизоляционных конструкциях на основе изделий из волокнистых материалов с покрытием (кэшированных) из алюминиевой фольги или стеклоткани (стеклохолста, стеклорогожи) и вспененного синтетического каучука для изолируемых объектов, расположенных в помещениях, тоннелях, подвалах и чердаках зданий, и при канальной прокладке трубопроводов.

5.16 При применении теплоизоляционных материалов из вспененных полимеров с закрытыми порами необходимость применения пароизоляционного слоя должна быть обоснована расчетом. При исключении пароизоляционного слоя следует предусматривать герметизацию стыков изделий материалами, не пропускающими водяные пары.

5.17 Теплоизоляционные конструкции из материалов с группой горючести Г3 и Г4 не допускается предусматривать для оборудования и трубопроводов, расположенных:

а) в зданиях, кроме зданий IV степени огнестойкости, одноквартирных жилых домов и охлаждаемых помещений холодильников;

б) в наружных технологических установках, кроме отдельно стоящего оборудования;

в) на эстакадах и галереях при наличии кабелей и трубопроводов, транспортирующих горючие вещества.

При этом допускается применение горючих материалов группы Г3 или Г4 для:

- пароизоляционного слоя толщиной не более 2 мм;

- слоя окраски или пленки толщиной не более 0,4 мм;

- покровного слоя трубопроводов, расположенных в технических подвальных этажах и подпольях с выходом только наружу в зданиях I и II

степеней огнестойкости при устройстве вставок длиной 3м из негорючих материалов не более чем через 30м длины трубопровода;

- теплоизоляционного слоя из заливочного пенополиуретана при покровном слое из оцинкованной стали в наружных технологических установках.

Покровный слой из слабогорючих материалов группы Г1 и Г2, применяемых для наружных технологических установок высотой 6 м и более, должен быть на основе стеклоткани.

5.18 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.

5.19 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, сальниковых и сильфонных

компенсаторов трубопроводов, а также в местах измерений и проверки состояния изолируемых поверхностей.

5.20 Изделия из минеральной ваты (каменной ваты и стекловолокна), применяемые в качестве теплоизоляционного слоя для трубопроводов подземной канальной прокладки должны быть гидрофобизированы.

Не допускается применение теплоизоляционных материалов подверженных деструкции при взаимодействии с влагой (асбестосодержащая мастичная изоляция, изделия известково-кремнеземистые, перлитоцементные и совелитовые).

5.21 При проектировании тепловой изоляции следует учитывать возможность коррозионного воздействия теплоизоляционного материала или входящих в его состав химических веществ на металлические поверхности оборудования и трубопроводов в присутствии влаги. В зависимости от материала изолируемой поверхности (сталь углеродистая, сталь легированная, цветные металлы и сплавы) и вида коррозии (окисление, щелочная коррозия, растрескивание под напряжением) в техническом задании на проектирование следует указывать требования по ограничению содержания в теплоизоляционном материале водорастворимых хлоридов, фторидов, свободных щелочей и pH материала.

6 Требования безопасности при проектировании тепловой изоляции

6.1 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.

6.2 Для теплоизоляционных конструкций, подвергающихся воздействию агрессивных сред, следует предусматривать защиту металлических покрытий от коррозии.

При использовании в качестве покровного слоя стали тонколистовой оцинкованной толщина цинкового покрытия выбирается с учётом степени

агрессивного воздействия среды и предполагаемого срока службы покровного слоя, но не менее 20мкм.

При применении в качестве покровного слоя листов и лент из алюминия и алюминиевых сплавов и теплоизоляционного слоя в стальной неокрашенной сетке или при устройстве каркаса следует предусматривать установку под покровный слой прокладки из рулонного материала или окраску покровного слоя изнутри битумным лаком.

6.3 Под покровный слой из неметаллических материалов в помещениях хранения и переработки пищевых продуктов следует предусматривать установку сетки стальной из проволоки диаметром не менее 1 мм с ячейками размером не более 12х12 мм.

6.4 Конструкция тепловой изоляции должна исключать её деформацию и сползание теплоизоляционного слоя в процессе эксплуатации. В составе теплоизоляционных конструкций оборудования и трубопроводов следует предусматривать опорные элементы и разгружающие устройства, обеспечивающие механическую прочность и эксплуатационную надежность конструкций.

На вертикальных участках трубопроводов и оборудования опорные конструкции следует предусматривать через каждые 3 – 4 м по высоте.

6.5 В конструкциях тепловой изоляции оборудования и трубопроводов с отрицательными температурами веществ не следует применять металлические крепежные детали, проходящие через всю толщину теплоизоляционного слоя. Крепежные детали или их части следует предусматривать из материалов с теплопроводностью не более 0,23 Вт/ (м·°С).

Деревянные крепежные детали должны быть обработаны антипиреном и антисептическим составом.

Элементы крепления, изготовленные из углеродистой стали, должны иметь антикоррозийное покрытие.

6.6 Детали, предусматриваемые для крепления теплоизоляционной конструкции на поверхности с отрицательными температурами, должны иметь

антикоррозионное покрытие или изготавливаться из коррозионно-стойких материалов.

Крепежные детали, соприкасающиеся с изолируемой поверхностью, следует предусматривать:

для поверхностей с температурой от минус 40 до 400°С – из углеродистой стали;

для поверхностей с температурой выше 400 и ниже минус 40°С – из того же материала, что и изолируемая поверхность.

Элементы крепления теплоизоляционного слоя и покровному слою теплоизоляционных конструкций оборудования и трубопроводов, расположенных на открытом воздухе в районах с расчетной температурой окружающего воздуха ниже минус 40°С, следует применять из легированной стали или алюминия.

6.7 Конструкция покровного слоя тепловой изоляции должна допускать возможность компенсации температурных деформаций изолируемого объекта и теплоизоляционной конструкции.

Температурные швы в защитных покрытиях горизонтальных трубопроводов следует предусматривать у компенсаторов, опор и поворотов, а на вертикальных трубопроводах – в местах установки опорных конструкций.

При изоляции жесткими формованными изделиями следует предусматривать вставки из волокнистых материалов в местах устройства температурных швов.

6.8 Выбор материала покровному слою теплоизоляционных конструкций оборудования и трубопроводов, расположенных на открытом воздухе в районах с расчетной температурой окружающего воздуха минус 40 °С и ниже, следует производить с учетом температурных пределов применения материалов по действующим нормативным документам.

6.9 Конструкция крепления покровному слою тепловой изоляции оборудования и трубопроводов с отрицательными температурами веществ должна исключать возможность повреждения пароизоляционного слоя в процессе эксплуатации.

6.10 Для оборудования и трубопроводов с отрицательными температурами при применении пароизоляционного слоя из рулонных материалов без сплошной наклейки следует предусматривать герметизацию швов пароизоляционного слоя; при температуре изолируемой поверхности ниже минус 60 °С следует также предусматривать герметизацию швов покровного слоя герметиками или пленочными клеящимися материалами.

6.11 Для бесканальной прокладки трубопроводов тепловых сетей в сухих грунтах, возможно применение изоляции из штучных формованных изделий (скорлупы, сегменты) из пенополиуретана или полимербетона с водонепроницаемым покровным слоем при этом теплоизоляционные изделия следует укладывать на водостойких и температуростойких мастиках или клеях.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(справочное)

Перечень нормативных документов, на которые имеются ссылки в тексте

Технический регламент ЕврАзЭС «О безопасности зданий и сооружений, строительных материалов и изделий»

МСН 4.02-03-85 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов

МСП 4.02-102-99 Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(справочное)

РАСЧЕТНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ.

Материал, изделие	Средняя плотность в конструкции, кг/м^3	Теплопроводность теплоизоляционного материала в конструкции $\lambda_{из}$, 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 t_m	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 t_m	0,044-0,035		
	125	0,049 + 0,0002 t_m	0,048-0,037		
Плиты теплоизоляционные из минеральной ваты на синтетическом связующем	65	0,04 + 0,00029 t_m	0,039-0,03	От минус 60 до 400	Негорючие
	95	0,043 + 0,00022 t_m	0,042-0,031		
	120	0,044 + 0,00021 t_m	0,043-0,032	От минус 180 до 400	
	180	0,052 + 0,0002 t_m	0,051-0,038		
Полуцилиндры и цилиндры минераловатные	50	0,04 + 0,00003 t_m	0,039-0,029	От минус 180 до 400	Негорючие
	80	0,044 + 0,00022 t_m	0,043-0,032		
	100	0,049 + 0,00021 t_m	0,048-0,036		
	150	0,05 + 0,0002 t_m	0,049-0,035		
	200	0,053 + 0,00019 t_m	0,052-0,038		
Маты и вата из супертонкого базальтового волокна без связующего	80	0,032 + 0,00019 t_m	0,031-0,24	От минус 180 до 600	Негорючие
Шнур теплоизоляционный из минеральной ваты	200	0,056 + 0,00019 t_m	0,055-0,04	От минус 180 до 600	НГ – Г1
Шнур асбестовый	100-160	0,093+0,00019 t_m	-	От 20 до 220	Г1
Маты из стеклянного штапельного волокна на синтетическом связующем	50	0,04 + 0,0003 t_m	0,039-0,029	От минус 60 до 180	Негорючие
	70	0,042 + 0,00028 t_m	0,041-0,03		
Маты прошивные из стеклянного штапельного волокна на синтетическом связующем	50	0,04 + 0,0002 t_m	0,037-0,03	От минус 60 до 300	Негорючие
Маты и вата из супертонкого стеклянного волокна без связующего	70	0,033 + 0,00014 t_m	0,032-0,024	От минус 180 до 400	Негорючие
Теплоизоляционные изделия из пеностекла	130	0,05 + 0,0002 t_m	0,05- 0,038	От минус 150 до 350	Негорючие
Армопенобетон	200-300	0,055 + 0,0002 t_m	0,055	От минус 60 до 300	Негорючий
Песок перлитовый, вспученный, мелкий	110	0,052 + 0,00012 t_m	0,051-0,038	От минус 180 до 875	Негорючий

Материал, изделие	Средняя плотность в конструкции, кг/м^3	Теплопроводность теплоизоляционного материала в конструкции $\lambda_{из}$, Вт/(м·°С) для поверхностей с температурой, °С		Температура применений, °С	Группа горючести
		20 и выше	19 и ниже		
	150	0,055 + 0,00012 t_m	0,054-0,04		
	225	0,058 + 0,00012 t_m	0,057-0,042		
Теплоизоляционные изделия из пенополистирола	30	0,033 + 0,00018 t_m	0,032-0,024	От минус 180 до 70	Г3 - Г4
	50	0,036 + 0,00018 t_m	0,035-0,026		
	100	0,041 + 0,00018 t_m	0,04-0,03		
Теплоизоляционные изделия из пенополиуретана	40	0,030 + 0,00015 t_m	0,029-0,024	От минус 180 до 130	Г2 - Г4
	50	0,032 + 0,00015 t_m	0,031-0,025		
	70	0,037 + 0,00015 t_m	0,036-0,027		
Пенополимерминерал	200-250	0,047 + 0,0002 t_m	0,047	От минус 60 до 150	Г1
Теплоизоляционные изделия из вспененного каучука	60-80	0,034 + 0,0002 t_m	0,033	От минус 60 до 125	Г1-Г3
Теплоизоляционные изделия из пенополиэтилена	50	0,035 + 0,00018 t_m	0,033	От минус 70 до 70	Г3-Г4

Примечания

1 Средняя температура теплоизоляционного слоя; °С:

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

$t_m = t_в/2$ - на открытом воздухе, воздухе в зимнее время, где $t_в$ - 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.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(рекомендуемое)

МЕТОДЫ РАСЧЁТА ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ И ТРУБОПРОВОДОВ

1. Расчётные формулы стационарной теплопередачи в теплоизоляционных конструкциях

Поверхностная плотность теплового потока через плоские поверхности рассчитывается по формулам:

однослойная плоская стенка

$$q_F = \frac{t_в - t_н}{R_{вн} + R_{ст} + R_{из} + R_н}, \quad (1)$$

многослойная плоская стенка из n слоев

$$q_F = \frac{t_в - t_н}{R_{вн} + R_{ст} + \sum_{i=1}^{n} R_i + R_н}, \quad (2)$$

Линейная плотность теплового потока через цилиндрические поверхности рассчитывается по формулам:

однослойная цилиндрическая стенка

$$q_L = \frac{t_в - t_н}{R^L_{вн} + R^L_{ст} + R^L_{из} + R^L_н}, \quad (3)$$

многослойная цилиндрическая стенка из n-слоёв

$$q_L = \frac{t_в - t_н}{R^L_{вн} + R^L_{ст} + \sum_{i=1}^{n} R^L_i + R^L_н}, \quad (4)$$

где q_F - поверхностная плотность теплового потока через плоскую теплоизоляционную конструкцию, Вт/м^2;

$t_в$ - температура среды внутри изолируемого объекта, °С;

$t_н$ - температура окружающей среды, °С;

$R_{вн}$ - сопротивление теплоотдаче на внутренней поверхности стенки изолируемого объекта, м^2·°С/Вт;

$R_н$ - то же, на наружной поверхности теплоизоляции, м^2·°С/Вт;

$R_{ст}$ - термическое сопротивление стенки изолируемого объекта, м^2·°С/Вт;

$R_{из}$ - то же, плоского слоя изоляции, м^2·°С/Вт;

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

R_i - термическое сопротивление i-го слоя, м^2·°С/Вт;

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

$R^L_{вн}$ - линейное термическое сопротивление теплоотдаче внутренней стенки изолируемого объекта, м·°С/Вт;

$R^L_{н}$ - то же, наружной изоляции, м·°С/Вт;

$R^L_{ст}$ - линейное термическое сопротивление цилиндрической стенки изолируемого объекта, м·°С/Вт;

$R^L_{из}$ - то же, цилиндрического слоя изоляции, м·°С/Вт;

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

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

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

$$R_{вн} = \frac{1}{\alpha_{вн}}; \quad R_н = \frac{1}{\alpha_н}; \quad R_{из} = \frac{\delta_{из}}{\alpha_{из}}; \quad R_{ст} = \frac{\delta_{ст}}{\alpha_{ст}}; \quad R_i = \frac{\delta_i}{\alpha_i}; \tag{5}$$

$$R^L_{вн} = \frac{1}{\pi d^{ст}_{вн} \alpha_{вн}}; \qquad R^L_н = \frac{1}{\pi d^{из}_н \alpha_н}; \qquad R^L_{из} = \frac{1}{2\pi\lambda_{из}} \cdot \ln \frac{d^{из}_н}{d^{ст}_н}; \tag{6}$$

$$R^L_{ст} = \frac{1}{2\pi\lambda_{ст}} \cdot \ln \frac{d^{ст}_н}{d^{ст}_{вн}}; \qquad R^L_i = \frac{1}{2\pi\lambda_i} \cdot \ln \frac{d^i_н}{d^i_{вн}}; \tag{7}$$

где $\alpha_{вн}$, $\alpha_н$ - коэффициенты теплоотдачи внутренней поверхности стенки изолируемого объекта и наружной поверхности изоляции, Вт/(М^2·°С);

$\lambda_{ст}$, $\lambda_{из}$, λ_i - коэффициенты теплопроводности соответственно материала стенки изолируемого объекта однослойной изоляции, изоляции i-го слоя n-слойной изоляции, Вт/(М·°С);

$\delta_{ст}$, $\delta_{из}$, δ_i - толщина соответственно стенки изолируемого объекта, однослойной изоляции i-го слоя n-слойной изоляции, м;

$d^{ст}_{вн}$, $d^{ст}_н$ - внутренний и наружный диаметры стенки изолируемого объекта, м;

$d^{из}_н$ - наружный диаметр изоляции, м;

$d^i_н$, $d^i_{вн}$ - 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:

$$t^{ст}_{вн} = t_в - q_F R_{вн}; \qquad t^{ст}_н = t^{ст}_{вн} - q_F R_{ст}; \tag{8}$$

- температура $t^н_1$ на наружной поверхности первого слоя изоляции, на границе 1-го и 2-го слоев

$$t_1^н = t_н^{ст} - q_F R_1; \quad (9)$$

- и далее, начиная со 2-го слоя, на границах (*i*-1)-го и i-го слоев

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

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

$$t_i^н = t_н + q_F R_н; \quad (11)$$

Распределения температур в цилиндрических многослойных изоляционных конструкциях рассчитывается по формулам:

$$t_{вн}^{ст} = t_в - q_L R_{вн}^L; \; t_н^{ст} = t_{вн}^{ст} - q_L R_{ст}^L; \quad (12)$$

$$t_1^н = t_н^{ст} - q_L R_1^L; \quad (13)$$

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

$$t_i^н = t_н - q_L R_н^L; \quad (15)$$

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

При расчёте многослойных конструкций по формулам (2), (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 (8) – (11) для плоской и по (12) – (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 расчётах для этой цели необходимо проведение не более 3-4 расчетных операций.

2. Расчёт тепловой изоляции оборудования и трубопроводов

В практических расчётах тепловой изоляции принимается ряд допущений, позволяющих использовать упрощённые 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 расчётах 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 учётом указанных допущений в практических расчётах для определения теплового потока через изолированные стенки трубопроводов и оборудования используются следующие формулы:

для плоских поверхностей и цилиндрических диаметром более 2 м

$$q_F = \frac{(t_h - t_н)K}{\sum_{i=1}^{n} R_i + R_н}; \quad (16)$$

для трубопроводов диаметром менее 2 м

$$q_L = \frac{(t_в - t_н)K}{\sum_{i=1}^{n} R_i^L + R_н^L}; \quad (17)$$

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

Таблица 2 - **Значения коэффициента теплоотдачи α, Вт/(М^2·°С)**

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 расчёте тепловой изоляции объектов, расположенных под землёй, учитывается их

тепловое взаимодействие с массивом окружающего грунта.

Плотность теплового потока через теплоизоляционные конструкции, граничащие с грунтом, определяется по формулам (1) – (4), в которых термические сопротивления внешней теплоотдаче $R_н$ и $R_н^L$ 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 расчётах принимается допущение об одномерности температурного поля в теплоизоляционном слое, что позволяет с достаточной для практики точностью использовать формулы (5) – (7) для расчёта термического сопротивления плоских и цилиндрических теплоизоляционных конструкций подземных объектов.

2.1. Расчет толщины тепловой изоляции по нормированной плотности теплового потока

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

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

$$\delta_{из} = \lambda_{из}\left[\frac{K(t_в - t_н)}{q_F^н} - R_н\right], \qquad (18)$$

Таблица В.3 - **Ориентировочные значения $R_н^L$, 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, °С								
	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 $R_н^L$ определяется интерполяцией.

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

Для однослойных цилиндрических поверхностей диаметром менее 2 м по формуле:

$$\ln B = 2\pi \cdot \lambda_{из}\left[\frac{K(t_в - t_н)}{q_L^н} - R_н^L\right], \quad (19)$$

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

При расчёте по формуле (19) предварительно определяют величину $\ln B$,

где, $B = \frac{d_н^{ст} + 2\delta_{из}}{d_н^{ст}}$. Приближенные значения $R_н^L$ принимаются по таблице 3.

Затем находят величину B и определяют требуемую толщину изоляции по формуле

$$\delta_{из} = \frac{d_н^{ст}(B-1)}{2}, \quad (20)$$

Для двухслойных теплоизоляционных конструкций расчет толщины слоёв 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 $t_{1,2}$ 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

$$\delta_{из1} = \lambda_{из1}\left[\frac{(t_в - t_{1,2})}{q_F^н}\right], \quad (21)$$

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

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

$$\ln B_1 = 2\pi \cdot \lambda_{из1}\left[\frac{(t_в - t_{1.2})}{q_L^н}\right], \quad (22)$$

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

$$\delta_{из1} = \frac{d_н^{ст}(B_1 - 1)}{2},$$

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

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

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

$$\delta_{из2} = \frac{d_{из1}(B_2 - 1)}{2}, \qquad (23)$$

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

Задаваясь начальным значением толщины изоляции δ_0, м, определяемой требуемой точностью расчета, например, 0,001м, с помощью последовательных шагов: 1, 2, 3, 4,..., i для толщины изоляции: $\delta_1=\delta_0 1$; $\delta_2=\delta_0 2$; $\delta_3=\delta_0 3$, ..., $\delta_i=\delta_0 i$ производят вычисление линейной плотности тепловых потоков q_L^1; q_L^2;...; q_L^i по уравнению

$$q_L^i = \frac{\pi(t_в - t_{1,2})}{\frac{1}{\alpha_н(d_н^{ст} + 2\delta_0 i)} + \frac{1}{2\lambda_{из}} \cdot \ln\frac{d_н^{ст} + 2\delta_0 i}{d_н^{ст}}}, \qquad (24)$$

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

$$q_L^i - q_L^н \le 0, \qquad (25)$$

вычисления заканчиваются, а найденная величина $\delta=\delta_0 i$ является искомой, обеспечивающей заданную величину тепловых потерь.

Расчетные параметры при определении толщины изоляции по нормируемой плотности теплового потока следует принимать по п.п.6.1.1 – 6.1.6 СНиП 41-03-2003.

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

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

при $\frac{t_в^{'} - t_н}{t_в^{''} - t_н} \ge 2$, $\qquad R_1^L = \frac{3{,}6Kl}{GC\ln\frac{t_в^{'} - t_н}{t_в^{''} - t_н}};$ (26)

$$\text{при } \frac{t_в^{'}-t_н}{t_в^{''}-t_н}\le 2,\quad R_2^L=\frac{3{,}6Kl\left(\frac{t_в^{'}+t_в^{''}}{2}-t_н\right)}{GC(t_в^{'}-t_в^{''})}; \tag{27}$$

где $t_н$ - расчетная температура окружающей среды, °С.

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

$$\ln B_{1,2}=2\pi\cdot\lambda_{из}\left(R_{1,2}^L-R_н^L\right), \tag{28}$$

Принимая приближенные значения $R_н$ по таблице 3 и определяя по формуле (28) ln B находят величину B и затем по формуле (20) толщину изоляции

$$\delta_{из1,2}=\frac{d_н^{cm}(B_{1,2}-1)}{2},$$

Расчётные параметры при определении толщины тепловой изоляции по заданной величине снижения (повышения) температуры транспортируемого вещества принимаются по п.6.4 СНиП 41-03-2003.

2.3. Расчет толщины тепловой изоляции по заданной температуре наружной поверхности

Определение толщины изоляции по заданной температуре ее наружной поверхности $t_п$ производится в том случае, когда изоляция нужна как средство, предохраняющее обслуживающий персонал от ожогов.

Расчёт толщины тепловой изоляции выполняется по формулам:

для плоских теплоизоляционных конструкций

$$\delta_{из}=\frac{\lambda_{из}(t_в-t_п)}{\alpha_н(t_п-t_н)}; \tag{31}$$

для цилиндрических

$$\ln B=\ln\frac{d_н^{cm}+2\delta_{из}}{d_н^{cm}}=2\pi\cdot\lambda_{из}\cdot R_н^L\cdot\frac{t_в-t_п}{t_п-t_н}; \tag{32}$$

где, ориентировочное значение $R_н^L$ принимается по таблице 3.

$$\delta_{из}=\frac{d_н^{cm}(B-1)}{2},$$

Рассмотренный метод является приближенным. Более точные результаты могут быть

получены методом последовательных приближений.

Расчёт выполняется по формуле:

$$\left(\frac{t_в - t_п}{t_п - t_н}\right)_i = \frac{\ln\frac{d_н^{ст} + 2\delta_0 i}{d_н^{ст}}\alpha_н(d_н^{ст} + 2\delta_0 i)}{2\lambda_{из}}; \quad (33)$$

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: $\delta_1=\delta_0 1$; $\delta_2=\delta_0 2$; $\delta_3=\delta_0 3$, ..., $\delta_i=\delta_0 i$ производится вычисление величин:

$\left(\frac{t_в - t_п}{t_п - t_н}\right)_1$; $\left(\frac{t_в - t_п}{t_п - t_н}\right)_2$; $\left(\frac{t_в - t_п}{t_п - t_н}\right)_3$;...; $\left(\frac{t_в - t_п}{t_п - t_н}\right)_i$ по уравнению (33).

На каждом шаге вычислений *i* производится сравнение $\left(\frac{t_в - t_п}{t_п - t_н}\right)_i$ с заданным значением $\left(\frac{t_в - t_п}{t_п - t_н}\right)_p$. При выполнении условия:

$$\left(\frac{t_в - t_п}{t_п - t_н}\right)_i - \left(\frac{t_в - t_п}{t_п - t_н}\right)_p \geq 0, \quad (34)$$

вычисления заканчиваются, а найденная величина $\delta_i=\delta_0 i$ 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 п.6.7 МСН 41-03-2011.

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 ($t_н - t_п$), при котором исключается конденсация влаги из воздуха (таблица В.4).

Таблица В.4 - **Расчетный перепад $t_н - t_п$, °С**

$t_н$, °С	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

Расчёт выполняется по формулам:

- для плоской поверхности

$$R_{из} = \frac{t_п - t_в}{t_н - t_п} R_н; \quad \delta_{из} = \frac{\lambda_{из}(t_п - t_в)}{\alpha_н (t_н - t_п)}; \tag{35}$$

- для цилиндрической поверхности

$$R^L_{из} = \frac{t_п - t_в}{t_н - t_п} R^L_н; \quad \ln B = 2\pi \cdot \lambda_{из} \cdot R^L_н \cdot \frac{t_п - t_в}{t_н - t_п}; \tag{36}$$

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

В расчетах температуру наружной среды $t_н$ равной температуре воздуха в помещении.

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

Коэффициент теплоотдачи к наружной поверхности изоляции $\alpha_н$ принимается для поверхностей с низким коэффициентом излучения – 5Вт/(м^2 ·°С), для поверхностей с высоким коэффициентом излучения – 7 Вт/(м^2 ·°С) (см.примечание к таблице В.2).

3. РАСЧЕТ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

3.1 Надземная прокладка

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

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

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 $\alpha_н$ - по таблице В.2.

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

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

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:

$$q^L_{1,2} = q^L_1 + q^L_2 = \frac{(t_{кан} - t_н)K}{R_{кан} + R^к_{гр}}; \tag{37}$$

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

$$t_{кан} = \frac{\frac{t_{в1}}{R^L_{из1} + R^L_{н1}} + \frac{t_{в2}}{R^L_{из2} + R^L_{н2}} + \frac{t_н}{R_{кан} + R^к_{гр}}}{\frac{1}{R^L_{из1} + R^L_{н1}} + \frac{1}{R^L_{из2} + R^L_{н2}} + \frac{1}{R_{кан} + R^к_{гр}}}, \quad (38)$$

где:

$$R^L_{из1} = \frac{1}{2\pi\lambda_{из}} \cdot \ln\frac{d_1 + 2\delta_{из1}}{d_1}; \qquad R^L_{из2} = \frac{1}{2\pi\lambda_{из}} \cdot \ln\frac{d_2 + 2\delta_{из2}}{d_2}; \quad (39)$$

$$R^L_{н1} = \frac{1}{2\pi\alpha_k(d_1 + 2\delta_{из1})}; \qquad R^L_{н2} = \frac{1}{2\pi\alpha_k(d_2 + 2\delta_{из2})}; \quad (40)$$

$$R_{кан} = \frac{1}{\pi\alpha_к \cdot \frac{2bh}{b+h}}; \quad (41)$$

q^L_1, q^L_2 - линейные плотности теплового потока от подающего и обратного трубопроводов, Вт/м;

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

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

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

$R^L_{из1}$, $R^L_{из2}$ - термические сопротивления изоляции подающего и обратного трубопроводов, м·°С/Вт;

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

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

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

$\alpha_к$ - коэффициент теплоотдачи в канале, принимается равным 11 Вт/(м^2·°С);

$\lambda_{из}$ - теплопроводность изоляции в конструкции, Вт/(м·°С);

$\delta_{из1}$, $\delta_{из2}$ - толщины изоляции подающего и обратного трубопроводов, м;

$R^к_{гр}$ - термическое сопротивление грунта, Вт/(м·°С), определяется по формуле

$$R_{гр}^{к}=\frac{\ln\left[3{,}5\frac{H}{h}\left(\frac{h}{b}\right)^{0{,}25}\right]}{\left(5{,}7+0{,}5\frac{b}{h}\right)\lambda_{гр}};\qquad(42)$$

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

Н – глубина заложения, расстояние от оси труб до поверхности земли, м;

Расчёт 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 потока q_1^L и 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 - $q_{1,2}^L$, в этом случае определяется толщина изоляции, одинаковая для обоих трубопроводов .

Расчёт толщины изоляции по нормативным линейным плотностям теплового потока, заданным отдельно для подающего - q_1^L и обратного - q_2^L трубопровода выполняется в следующей последовательности.

На первом этапе рассчитывают температуру в канале по формуле:

$$t_{кан}=t_{н}+K(q_1^L+q_2^L)\cdot(R_{кан}+R_{гр}),\qquad(43)$$

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

$$\ln B_1=2\pi\lambda_{из}\cdot\left(\frac{t_{в1}-t_{кан}}{q_1^L}-R_{н1}^L\right);\qquad(44)$$

$$\ln B_2=2\pi\lambda_{из}\cdot\left(\frac{t_{в2}-t_{кан}}{q_2^L}-R_{н2}^L\right);\qquad(45)$$

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

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

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

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
	1200	8	0,83
		15	1,04
	1300	8	0,98
		15	1,2
	1400	8	1,12
		15	1,36
		20	1,63
	1500	8	1,27
		15	1,56
		20	1,86
	1600	8	1,45
		15	1,78
	2000	5	1,75
		10	2,56
		11,5	2,68
Глинистые	1300	8	0,72
		18	1,08
		40	1,66
	1500	8	1,0
		18	1,46
		40	2,0
	1600	8	1,13
		27	1,93

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

На первом этапе задаются начальным значением толщины изоляции $\delta_{из1} = \delta_{из2} = \delta_0$, одинаковой для подающего и обратного трубопровода, и по формулам (38) – (41) рассчитывают температуру в канале. Затем по формуле (37) вычисляют суммарную линейную плотность теплового потока $q^L_{1,2}$.

Полученное расчётное значение сравнивают с нормативной линейной плотностью теплового потока по Приложению Е, таблицы Е.7, Е.8.

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

Расчёт повторяют до тех пор, пока расчётное значение плотности теплового потока - $q^L_{1,2}$ будет отличаться от нормативного значения - $q^L_{1,2}$ на заданную степень точности расчёта, например, не более, чем на 1%. Последнее значение δ_i принимается в качестве расчётной толщины тепловой изоляции для подающего и обратного трубопровода.

При расчете тепловой изоляции двухтрубных тепловых сетей в непроходных каналах расчётную температуру теплоносителя в подающих и обратных трубопроводах принимают по

таблице 5.

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

Коэффициент дополнительных тепловых потерь К при расчёте 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.

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:

$$q_1^L = \frac{(t_{в1} - t_н)(R^L_{из2} + R^к_{гр2}) - (t_{в2} - t_н)\cdot R_0}{(R^L_{из1} + R^к_{гр1})(R^L_{из2} + R^к_{гр2}) - R_0^2} K; \quad (46)$$

$$q_2^L = \frac{(t_{в2} - t_н)(R^L_{из1} + R^к_{гр1}) - (t_{в1} - t_н)\cdot R_0}{(R^L_{из2} + R^к_{гр2})(R^L_{из1} + R^к_{гр1}) - R_0^2} K; \quad (47)$$

$$q^L_{1,2} = q^L_1 + q^L_2, \quad (48)$$

где $R^к_{гр}$ - термическое сопротивление грунта при бесканальной прокладке, м·°С/Вт, определяется по формуле:

$$R^к_{гр} = \frac{1}{2\pi\lambda_{гр}} \ln\left[\frac{2H}{d} + \sqrt{\left(\frac{2H}{d}\right)^2 - 1}\right], \quad (49)$$

где d - наружный диаметр изолированного трубопровода, м; подающего - d_1, обратного - d_2;

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

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

R_0 - термическое сопротивление, обусловленное тепловым взаимодействием двух труб, м·°С/Вт, определяется из выражения

$$R_0 = \frac{\ln\sqrt{1 + \left(\frac{2H}{K_{1,2}}\right)^2}}{2\pi\cdot\lambda_{гр}}, \quad (50)$$

в котором $K_{1,2}$ - расстояние между осями труб по горизонтали, м.

Остальные значения величин в (46), (47) те же, что и в формуле (39) для канальной прокладки.

Также как при прокладке двухтрубных тепловых сетей в проходных каналах расчёт 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 q_1^L и q_2^L, заданным отдельно для подающего и обратного трубопровода.

б) По суммарной нормативной линейной плотности теплового потока от подающего и обратного трубопровода - $q_{1,2}^L$.

Расчёт толщины изоляции трубопроводов тепловых сетей бесканальной прокладки по нормативным значениям линейной плотности теплового потока, заданным отдельно для подающего - q_1^L и обратного - q_2^L трубопровода выполняют по формулам:

$$\ln\frac{d_1+2\delta_{из1}}{d_1}=\frac{2\pi\lambda_{из1}\lambda_{гр}}{\lambda_{гр}-\lambda_{из1}}\left(\frac{t_{в1}-t_н-q_2^L R_0}{q_1^L}-R_{гр1}^{\delta}\right); \qquad (51)$$

$$\ln\frac{d_1+2\delta_{из2}}{d_2}=\frac{2\pi\lambda_{из2}\lambda_{гр}}{\lambda_{гр}-\lambda_{из2}}\left(\frac{t_{в2}-t_н-q_1^L R_0}{q_2^L}-R_{гр2}^{\delta}\right). \qquad (52)$$

Определив с помощью (51), (52) значения $B_1=\frac{d_1+2\delta_{из1}}{d_1}$ и $B_2=\frac{d_2+2\delta_{из2}}{d_2}$,

вычисляют толщины изоляции, также, как и для канальной прокладки в разделе 3.2.

Расчёт толщины изоляции подающего и обратного трубопроводов двухтрубных тепловых сетей бесканальной прокладки по суммарной нормативной линейной плотности теплового потока - $q_{1,2}^L$, Вт/м, выполняется методом последовательных приближений (методом подбора).

На первом этапе задаются начальным значением толщины изоляции $\delta_{из1} = \delta_{из2} = \delta_0$, одинаковой для подающего и обратного трубопровода, и по формулам (46) – (48) рассчитывают суммарную линейную плотность теплового потока $q_{1,2}^L$.

Полученное расчётное значение сравнивают с нормативной линейной плотностью теплового потока - $q_{1,2}^L$ по СНиП 41-03-2003, таблицы 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 расчётного значения - $q_{1,2}^L$.

Расчёт повторяют до тех пор, пока расчётное значение плотности теплового потока - $q_{1,2}^L$ будет отличаться от нормативного значения - $q_{1,2}^L$ на заданную степень точности расчёта,

например, не более, чем на 1%. Последнее значение δ_i принимается в качестве расчётной толщины тепловой изоляции для подающего и обратного трубопровода.

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

gost.e-ecolog.ru