

ТЕМА 10

ТЕПЛОВАЯ ИЗОЛЯЦИЯ И ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ

10.1 Назначение тепловой изоляции и требования к материалам

Экономическая эффективность систем централизованного теплоснабжения при современных масштабах теплового потребления в значительной мере зависит от тепловой изоляции оборудования и трубопроводов. Тепловая изоляция служит для уменьшения тепловых потерь и обеспечения допустимой температуры изолируемой поверхности. Борьба за снижение транспортных потерь теплоты в теплопроводах является важнейшим средством экономии топливных ресурсов. Дополнительные затраты, связанные с нанесением тепловой изоляции и антикоррозионных покрытий, относительно невелики и составляют 5 – 8% от общей стоимости тепловых сетей, но качественное изолирование повышает стойкость металла против коррозии, в результате которой существенно увеличивается срок службы трубопроводов. Тепловая изоляция оздоравливает условия труда эксплуатационного персонала и позволяет сохранить высокие параметры теплоносителя на большом удалении от источника теплоты.

Тепловая изоляция трубопроводов и оборудования тепловых сетей применяется при всех способах прокладки независимо от температуры теплоносителя. Теплоизоляционные материалы непосредственно контактируют с внешней средой, для которой свойственны непрерывные колебания температуры, влажности и давления. В крайне неблагоприятных условиях находится теплоизоляция подземных и особенно бесканальных теплопроводов. Ввиду этого теплоизоляционные материалы и конструкции должны удовлетворять ряду требований. Соображения экономичности и долговечности требуют, чтобы выбор теплоизоляционных материалов и конструкций производился с учетом способов прокладки и условий эксплуатации, определяемых внешней нагрузкой на теплоизоляцию, уровнем грунтовых вод, температурой теплоносителя, гидравлическим режимом работы тепловой сети и др.

Материалы, используемые в качестве теплоизолятора, должны обладать высокими теплозащитными свойствами и низким водопоглощением в течение длительного срока эксплуатации. Водопоглощение и гидрофобность (свойство поверхностного водоотталкивания) имеют важное значение для сохранения начальных теплофизических свойств теплоизоляцион-

ного материала и для экономии теплоснабжения. Коэффициент теплопроводности большинства сухих изоляционных материалов изменяется в пределах 0,05 – 0,25 Вт/м°C, с увлажнением коэффициент теплопроводности увеличивается иногда в 3 – 4 раза.

Теплоизоляционные свойства одних и тех же материалов существенно ухудшаются и с увеличением объемной плотности. Тяжелая теплоизоляция разрушающе действует на удерживающую сетку и проволоку, провисшая теплоизоляция обрывается с трубопровода и оборудования и не выполняет своего прямого назначения. В связи с этим изоляционные материалы и бандажное крепление (сетка, проволока) должны обладать высокой механической и коррозионной стойкостью, способной противостоять воздействию внешней нагрузки и влажности.

Высокие требования предъявляются к химической чистоте изоляторов. Изоляционные материалы, содержащие химические соединения, коррозионно-агрессивные по отношению к металлу, не допускаются к применению, так как при увлажнении эти соединения легко вымываются из теплоизоляции, попадая на металлические поверхности, вызывают их коррозию. Наиболее агрессивными элементами являются серные и сернистые окислы (SO_3 , SO_2), содержащиеся в большом количестве в различных шлаках и минеральных ватах. Шлаки и ваты относятся к числу качественных изоляторов, но содержание окислов серы более 3% делает их непригодными для применения во влажных условиях.

Некоторые заполнители, как асбестит, асбозурит, древесные опилки, камышит и другие, в основном органические материалы, при увлажнении изменяют структуру, растрескиваются и загнивают, вследствие чего они также не рекомендуются для теплоизоляции.

Область применения тепловой изоляции определяется температурной стойкостью вещества, способностью сохранять первоначальные тепловые и механические свойства при высоких температурах теплоносителей. Состояние тепловой изоляции и ее долговечность зависят также от режимов работы трубопровода. Практика эксплуатации показала, что трубопроводы, периодически отключаемые на сезонные ремонты, корродируют быстрее непрерывно действующих. В непрерывно действующих трубопроводах потоки теплоты, проходящие через слой изоляции, поддерживают ее в постоянно сухом состоянии. При отключении сетей уменьшающиеся потоки теплоты от остывающего теплоносителя не в состоянии противостоять диффузии влаги с поверхности слоя изоляции к поверхности труб. Миграция влаги в глубь слоя изоляции сопровождается вымыванием

водорастворимых химических элементов, которые при длительном отключении сетей вызывают коррозию труб.

10.2 Теплоизоляционные материалы, изделия и конструкции при надземной и подземной прокладках тепловых сетей в каналах

10.2.1 Теплоизоляционные материалы

Основным теплоизоляционным материалом в настоящее время для тепловой изоляции трубопроводов и оборудования теплосетей является минеральная вата и изделия из нее. Минеральная вата представляет собой тонковолокнистый материал, получаемый из расплава горных пород, металлургических шлаков или их смеси. В частности, широкое применение находит базальтовая вата и изделия из нее.

Из минеральной ваты изготавливают путем уплотнения и добавки синтетических или органических (битум) связующих или прошивки синтетическими нитями различные маты, плиты, полуцилиндры, сегменты и шнуры.

Маты минераловатные прошивные изготавливают без обкладок и с обкладками из асбестовой ткани, стеклоткани, стекловолокнутого холста, гофрированного или кровельного картона, упаковочной или мешочной бумаги. В зависимости от плотности различают жесткие, полужесткие и мягкие изделия. Из жестких материалов изготавливают цилиндры с разрезом по образующей, полуцилиндры для изоляции труб малых диаметров (до 250 мм) и сегменты - для труб диаметром более 250 мм. Для изоляции труб больших диаметров применяют маты вертикальнослоистые, наклеенные на покровный материал, а также маты прошивные из минеральной ваты на металлической сетке.

Для теплоизоляции на месте монтажа стыков трубопроводов, а также компенсаторов, запорной арматуры изготавливается шнур теплоизоляционный из минеральной ваты, который представляет собой сетчатую трубку, как правило, из стеклоткани, плотно наполненную минеральной ватой. Теплопроводность изделий из минеральной ваты зависит от марки (по плотности) и колеблется в пределах $0,044...0,049 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$ при температуре 25°C и $0,067...0,072 \text{ Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$ при температуре 125°C .

Стеклянная вата представляет собой тонковолокнистый материал, получаемый из расплавленной стеклянной шихты путем непрерывного вытягивания стекловолокна, а также центробежно-фильтрно-дутьевым способом. Из стеклянной ваты методом формования и склеивания синтетическими смолами изготавливают плиты и маты жесткие, полужесткие и мягкие. Изготавливаются также маты и плиты без связующего, прошивные стеклянной или синтетической нитью.

Величина коэффициента теплопроводности изделий из стекловаты также зависит от плотности и колеблется в пределах 0,041...0,074 Вт/(м °С). Находят широкое применение в качестве оберточного и покровного материала холст стекловолнистый (нетканый рулонный материал на синтетическом связующем) и полотно холстопршивное из отходов стекловолны, представляющее собой многослойный холст, прошитый стеклонитями.

Вулканические изделия получают смешиванием диатомита, негашеной извести и асбеста, формованием и с обработкой в автоклавах. Изготавливают плиты, полуцилиндры и сегменты для изоляции трубопроводов D_y 50...400. Теплопроводность изделий от 0,077 Вт/(м °С) при 25°С до 0,1 Вт/(м °С) при 125°С.

Известково-кремнистые материалы – тонкоизмельченная смесь негашеной извести, кремнеземистого материала (диатомит, трепел, кварцевый песок) и асбеста. Выпускают изделия также в виде плит, сегментов и полуцилиндров для изоляции трубопроводов D_y 200...400. Теплопроводность материала от 0,058 Вт/(м °С) при 25°С до 0,077 Вт/(м °С) при 125°С.

Перлит – пористый материал, получаемый при термической обработке вулканического стекла с включениями полевых шпатов, кварца, плагиоклазов. Сырьем для получения вспученного перлита служат и другие силикатные породы вулканического происхождения (обсидиан, пемза, туфы и пр.). В виде щебня и песка перлит используется как заполнитель для приготовления теплоизоляционных бетонов и других теплоизоляционных изделий, как например, битумоперлит.

Смешивая перлитный песок с цементом и асбестом путем формования получают перлитобетонные изделия в виде полуцилиндров, плит и сегментов. Коэффициент теплопроводности от 0,058 Вт/(м °С) при 25°С до 0,128 Вт/(м °С) при 300°С.

Все более широкое применение в качестве основного теплоизоляционного слоя находят пенопласты. Пенопласты представляют собой пористый газонаполненный полимерный материал. Технология их изготовления основана на вспенивании полимеров газами, образующимися в результате химических реакций между отдельными смешивающимися компонентами. К пенопластам, допускаемым к применению для изоляции трубопроводов, следует отнести фенолформальдегидные пенопласты ФРП-1 и резопен, изготавливаемые из резольной смолы ФРВ-1А или резоцела и вспенивающего компонента ВАГ-3. Из этого материала изготавливаются цилиндры, полуцилиндры, сегменты, изолированные фасонные части марок ФРП-1 и резопен. Теплопроводность составляет 0,043...0,046 при 20°С.

Также перспективно применение пенополиуретановых материалов, получаемых в результате смешения различных полиэфиров, изоцианатов и вспенивающих добавок.

Нанесение пенопластовой изоляции производится на заводах путем заливки в формы или набрызга на поверхность труб. Изоляция стыков, фасонных частей, арматуры и др. возможна на месте монтажа трубопровода путем заливки в опалубки или в скорлупы жидкой вспененной массы с последующим быстрым твердением пеноизоляции.

Например, разработанная ВНИПИэнергопром пенополиуретановая теплогидроизоляция ППУ 308 Н имеет коэффициент теплопроводности, равный $0,032 \text{ Вт/(м } ^\circ\text{C)}$ при плотности $40..90 \text{ кг/м}^3$, наносится на трубы механизированным способом, при этом не требуется антикоррозийное покрытие. Наружный слой плотностью $150..400 \text{ кг/м}^3$ с пределом прочности на сжатие 50 кг/см^2 используется в качестве покровного слоя.

10.2.2 Теплоизоляционные конструкции

Теплоизоляционные конструкции включают в себя защитное покрытие поверхности труб от коррозии, основной слой изоляции (несколько слоев) и защитное покрытие (покровный слой), предохраняющий основной слой теплоизоляции от механических повреждений, воздействия атмосферных осадков и агрессивных сред. К защитному покрытию относятся также средства и детали крепления покровного слоя и изоляции в целом.

Выбор защитного покрытия поверхности труб от коррозии производится в зависимости от способа прокладки, от вида агрессивных воздействий на поверхность и от конструкции тепловой изоляции.

Наиболее распространенным являются масляно-битумные покрытия по грунту, а также покрытия изолом или бризолом по изольной мастике.

Весьма эффективным является стекломалеовое покрытие, состоящее из смеси кварцевого песка, полевого шпата, глинозема, буры и соды. Для повышения сцепления с металлом в состав вводят оксиды никеля, хрома, меди и другие добавки. Водный густой состав наносится на поверхность трубы, высушивается и оплавляется на поверхности трубы в кольцевом электромагнитном индукторе при температуре около 800°C . Стыковые соединения труб могут покрываться эмалью при помощи передвижных установок. Недорогим антикоррозийным средством является покрытие краской ЭФАЖС на эпоксидной смоле. Находят применение другие эпоксидные эмали. Для теплопроводов, находящихся в жестких температурно-влажностных условиях, весьма эффективна металлизация поверхности алюминием газотермическим способом. Алюминиевое покрытие наносится на поверхность трубы при помощи газопламенных или электродуговых аппаратов газовой или воздушной струей. Установка по металлизации алюминием может входить в поточно-механизированную линию по теплоизоляции труб.

Перед нанесением антикоррозионного покрытия поверхность труб зачищается от коррозии и окалины механическими щетками или пескоструйными аппаратами и при необходимости обезжиривается органическими растворителями.

Полносборные теплоизоляционные конструкции – наиболее индустриальный вид изоляции – изготавливаются на заводе с противокоррозионной обработкой труб и с креплением покровного слоя поверх основного слоя изоляции. Изоляция стыков, фасонных частей, арматуры, компенсаторов и др. производится после монтажа всех элементов участка теплосети из заготовленных на заводе штучных теплоизоляционных изделий.

Сборные комплектные теплоизоляционные конструкции представляют собой полный комплектный набор теплоизоляционных изделий, элементов покрытия и крепежных деталей по размерам и диаметрам. Подвесные теплоизоляционные конструкции – основной способ теплоизоляции теплопроводов надземной и подземной канальной прокладок. Выполняется из изделий минеральной ваты, стекловаты, вулканитовых изделий, известково-кремниевых и других материалов. В настоящее время изготовление подвесных теплоизоляционных конструкций, как правило, осуществляется сборкой штучных заготовок с закреплением покровным слоем и деталями крепления. Сборка изоляционных конструкций на объекте монтажа из готовых элементов (сегментов, полос, матов, скорлуп и полуцилиндров) связана с большой затратой ручного труда.

При монтаже теплоизоляции из мягких материалов (плит, матов) при нанесении покровного слоя неизбежно уплотнение материала теплоизоляционного слоя. Это должно учитываться при расчете необходимого количества материала коэффициентом уплотнения.

Для изоляции запорной арматуры находят применение съемные конструкции набивной изоляции в виде тьюфяков, заполненных минеральной или стеклянной ватой, перлитом и другим теплоизоляционным материалом. Оболочка тьюфяков изготавливается из стеклоткани.

Покровный слой при надземной прокладке на открытом воздухе, как правило, выполняет функции защитного покрытия от проникновения атмосферной влаги. Используется фольгоизол, фольгорубероид, армопластмассовые материалы, стеклотекстолит, стеклопластик, сталь листовая углеродистая и листовая оцинкованная, листы, ленты и фольга из алюминиевых сплавов.

При прокладке в непроходных каналах используют более дешевые армопластмассовые материалы, стеклотекстолит, стеклотластик, стеклорубероид, рубероид. В тоннелях допускается также применять фольгоизол, фольгорубероид и алюминиевую фольгу дублированную.

При выборе материала для защитного покрытия в зависимости от способа прокладки теплопроводов следует руководствоваться СНиП.

Крепление покровного слоя из листового металла производят самонарезающими винтами, планками или бандажами из упаковочной ленты или лентами из алюминиевого сплава, оболочки из стеклопластика, фольги и других материалов, крепят бандажами из алюминиевой или упаковочной ленты, оцинкованной стальной ленты и проволоки. Покрытие из кровельной стали окрашивают атмосферостойкими красками.

На рис.10.1 приведен пример теплоизоляции трубопровода минераловатными плитами.

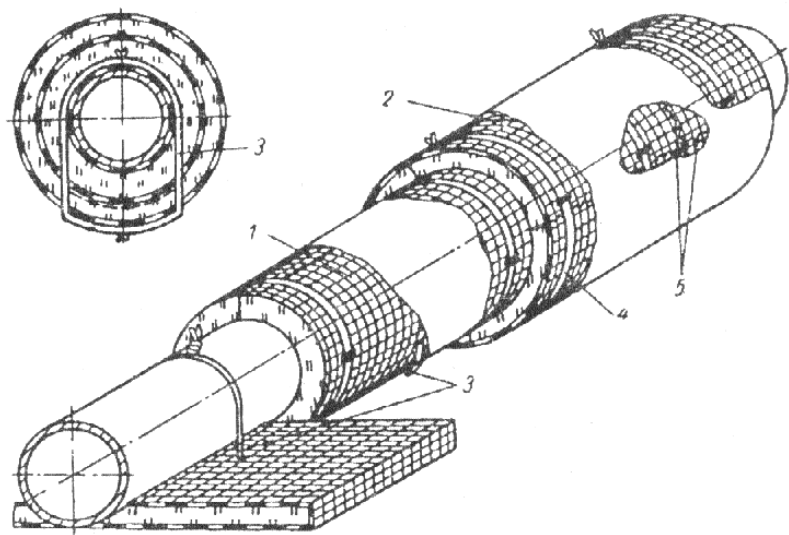


Рис. 10.1. Тепловая изоляция трубопроводов минераловатными матами на подвесках
1, 2 – маты; 3 – подвеска; 4 – бандаж; 5 – сшивка

Оберточные конструкции выполняют из прошивных матов или из мягких плит на синтетической связке, которые сшивают поперечными и продольными швами. Покровный слой крепится так же, как и в подвесной изоляции.

Оберточные конструкции в виде теплоизоляционных жгутов из минеральной или стеклянной ваты после наложения их на поверхность также покрывают защитным слоем. Изолируют стыки, фасонные части, арматуру.

Мастичная изоляция применяется также для теплоизоляции на месте монтажа арматуры и оборудования. Применяют порошкообразные материалы: асбест, асбозурт, совелит. Замешенная на воде масса накладывается на предварительно нагретую изолируемую поверхность вручную. Применяется мастичная изоляция редко, как правило, при ремонтных работах.

10.2.3 Теплоизоляционные материалы и конструкции бесканальных прокладок

Применение бесканальных прокладок привлекает более простой конструкцией и меньшей стоимостью по сравнению с прокладкой в каналах, однако, в этом случае требуется более тщательная гидроизоляция поверхности теплопровода вплоть до помещения изолированной трубы в герметичную оболочку. Следует различать конструкции бесканальных прокладок: засыпные, монолитные (литые) и прокладки в предварительно изолированных трубах с герметичными защитными оболочками.

Засыпные конструкции характеризуются тем, что смонтированные трубопроводы с антикоррозийным покрытием, уложенные в траншею, засыпаются теплоизоляционной массой. В качестве засыпок используют керамзитовый гравий, перлит, асфальтоизол. Последний характеризуется тем, что при разогреве трубы теплоносителем вокруг поверхности трубы создается тройной слой: сплавившийся материал, который обволакивает поверхность трубы, являясь антикоррозионным слоем, далее идет пористая спекшаяся масса, являющаяся теплоизоляционным слоем, и песко-гравиеобразный периферийный слой засыпки, не изменяющий своих свойств (рис. 10.2). При эксплуатации увлажняется, в основном, наружный слой, и к поверхности трубы влага не проникает. Перемещение трубопровода вследствие температурного удлинения происходит в вязком расплавленном слое. Теплопроводность асфальтоизола колеблется от 0,085 Вт/(м °С) в сухом состоянии до 0,2 Вт/(м °С) в увлажненном.

Для приготовления засыпки в виде асфальтоизола могут применяться отходы от переработки нефти.

Засыпная теплоизоляция из керамзита и перлита рекомендуется при сухих и маловлажных грунтах с низким уровнем грунтовых вод. Для защиты от поверхностных вод обсыпку рекомендуется покрывать полиэтиленовой пленкой, изолом, рубероидом и другими рулонными материалами.

Находит применение засыпка гидрофобизированным мелом. Перед обработкой в шаровой мельнице мел смешивается с гидрофобизатором.

Засыпка мела производится в инвентарную опалубку, в которую предварительно укладывается полиэтиленовая пленка. После обсыпки трубопровода и уплотнения пленкой внахлест укрывают изолированный тру-

бопровод. Коэффициент теплопроводности гидрофобизированного мела в среднем $0,086 \text{ Вт/(м } ^\circ\text{C)}$.

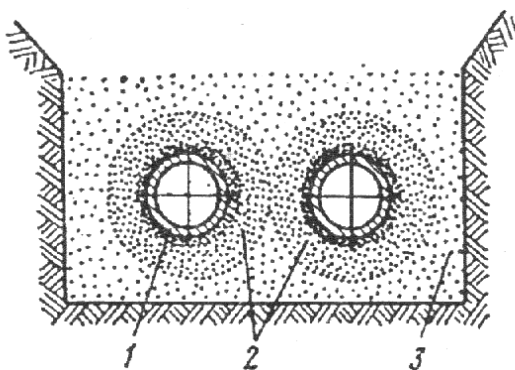


Рис. 10.2. Тепловая изоляция из самоспекающегося порошка (асфальтоизола)
1 – плотный слой; 2 – пористый слой; 3 – порошкообразный слой

Монолитные теплоизоляционные конструкции получили самое широкое распространение.

Примером такой конструкции является армопенобетонная оболочка. Изготовление ее и покрытие труб производится индустриальным способом на специализированных заводах. Армирование, заливка пенобетоном в формы и автоклавная обработка производится на поточной линии. В бетон добавляют пенообразователь (столярный клей, канифоль и кальцинированная сода). Гидрозащитное покрытие выполняется в виде трех слоев брыззола на битумно-резиновой мастике. Защитный слой – асбестоцементная штукатурка по проволоочной сетке. В других случаях защитный слой выполняется из двух-трех слоев стеклоткани по битумно-резиновой мастике (рис. 10.3).

Тепловое удлинение труб в изоляции из армопенобетона происходит вместе с изоляцией.

Стыки труб изолируют по месту монтажа скорлупами или сегментами из пенобетона, фенольного поропласта или газобетона.

Теплопроводность пенобетона составляет $0,093 \dots 0,116 \text{ Вт/(м } ^\circ\text{C)}$.

Высокая индустриальность изготовления изоляции в монолитной оболочке из армопенобетона явилась результатом широкого внедрения этого метода строительства бесканальных теплопроводов.

Другим, широко распространенным способом индустриального строительства тепловых сетей являются бесканальные прокладки в битумоперлитной оболочке. Изготовление битумоперлитной смеси, нанесение

на поверхность трубы, уплотнение и покрытие рулонным материалом осуществляется на поточной линии. Вследствие малого сцепления битумоперлита с поверхностью трубы тепловые удлинения происходят внутри изоляции.

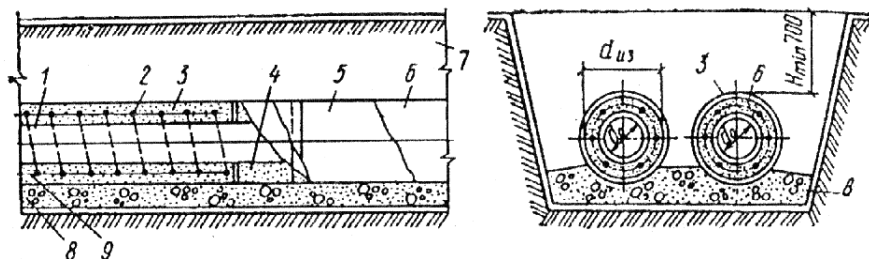


Рис. 10.3. Прокладка трубопроводов в изоляции из монолитного армопенобетона
1 – изолируемый трубопровод; 2 – спиральная арматура; 3 – армопенобетон; 4 – полуцилиндр или сегмент из пенобетона для изоляции мест стыков; 5 – гидроизоляционный слой; 6 – штукатурный слой; 7 – грунт; 8 – щебеночная подготовка; 9 – стержневая арматура.

При этом способе изоляции необходимо осуществлять усиленное антикоррозийное покрытие труб с учетом возможности проникновения влаги к поверхности труб через изоляцию. Невысокая стоимость изоляционной конструкции и индустриальность ее изготовления явились следствием широкого применения битумоперлитной теплоизоляции.

Теплопроводность материала зависит также от плотности и колеблется в пределах $0,08...0,15 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$.

Разработано и применяется большое количество материалов для монолитной теплоизоляции при бесканальных прокладках: пенобетон, пенополимербетон, перлитобетон, керамзитобетон, асфальтокерамзитобетон, газосиликат, пеностекло и др.

Пенопласты. Применение пенопластов для тепловой изоляции трубопроводов теплосетей сдерживалось вследствие их низкой температуростойчивости и высоким водопоглощением. Разработаны и применяются композиционные полимерные органические материалы с различными добавками, значительно улучшающие их теплотехнические качества.

Например, ЛенЗНИИЭП предложил фенольный поропласт ФЛ на основе фенолформальдегидной смолы, керосинового контакта Петрова, мочевины, поверхностно-активного вещества ОП-7 алюминиевого порошка и ортофосфорной кислоты. Однако из-за высокого водопоглощения требуется хорошая гидроизоляция поверхности труб. Разработанная технология механизированного покрытия труб изоляционным и гидроизоляцион-

ным слоем позволяет достичь высокой степени индустриализации строительства теплосетей. Благодаря высокой адгезии поропласта с поверхностью трубы тепловые удлинения происходят совместно с изоляцией.

ВНИПИЭнергпромом налажено производство теплопроводов в изоляции из пенополимербетона (ППБИ) методом формования и напыления. ППБИ представляет собой новый вид теплогидроизоляции на основе химических органических продуктов и минеральных наполнителей. Предназначается для изоляции бесканально проложенных теплопроводов с температурой теплоносителя до 150°C.

Конструкция изоляции монолитная трехслойная: антикоррозионный слой, плотностью 800...1000 кг/м³, толщиной 3...8 мм, средний теплоизоляционный плотностью 200...300 кг/м³, $\lambda = 0,07$ Вт/(м °С) (толщина определяется расчетом) и наружный гидрозащитный слой высокой прочности. Все три слоя образуются одновременно при формовании за один цикл.

Высокая индустриальность изготовления конструкции позволяет вести монтаж трубопроводов "с колес".

10.2.4 Бесканальные прокладки предварительно изолированных теплопроводов в оболочке из пластмассовых труб

Бесканальные прокладки получили развитие с применением предварительно изолированных труб в заводских условиях по типу "труба в трубе", т.е. в полиэтиленовую трубу-оболочку соосно помещают стальную трубу, кольцевое пространство заполняют пеноизоляцией с достаточно низким коэффициентом теплопроводности. Разработанные герметичные конструкции предизолированных труб предохраняют изоляцию и поверхность трубы от проникновения почвенной влаги. Таким образом, поверхность трубы надежно защищена от наружной коррозии (рис. 10.4).

Принимая защитные меры против внутренней коррозии – в виде противокоррозионной обработки сетевой воды, срок службы теплосети бесканальных прокладок с предизолированными трубами в оболочке из полиэтиленовых труб увеличивается до 30 лет и более.

В СНиП приведены основные положения по применению, проектированию и монтажу тепловых сетей с предварительно изолированными трубами. В частности, допускается прокладывать предизолированные трубы в канале и надземным способом, причем при надземной прокладке необходимо выполнять покровный слой.

С целью контроля состояния изоляции (увлажнения), прокладки с предизолированными трубами оборудуются системой аварийной сигнализации, так называемой системой оперативного дистанционного контроля (ОДК) состояния изоляции.



Рис. 10.4. Общий вид предварительно изолированной трубы.

Компенсация температурных удлинений производится за счет использования углов поворота ("П", "Z" и "Г" - образных компенсаторов), путем предварительного нагрева теплопроводов с использованием одноразовых компенсаторов и, частично, за счет увеличения внутреннего продольного напряжения в стенках труб при их заземлении в грунте.

В Беларуси с каждым годом увеличивается внедрение бесканальных прокладок тепловых сетей с предизолированными трубами. Существует несколько предприятий и фирм по изготовлению и монтажу предизолированных труб. Среди них наиболее известной является СП "Бел-Изолит", которое изготавливает и поставляет комплектное оборудование и трубопроводы диаметром до 600 мм, а для квартальных сетей горячего водоснабжения применяет предизолированные трубы и фасонные части из стеклопластика и полипропилена.

Большую популярность в мире по внедрению бесканальных прокладок с предизолированными трубами имеет фирма АББ И.Ц. Мюллер, которая имеет представительства более чем в 20 странах. Строительство тепловых сетей по разработанной фирмой технологии проектирования, изготовления и монтажа всех элементов конструкции отличается высокой индустриальностью и надежностью. Изготавливаются предизолированные трубы и вся оснастка для строительства тепловых сетей диаметром от D_y 20 до D_y 1000.

Стальные бесшовные трубы изготавливаются в соответствии с международным стандартом ISO 4200/DIN 2458. Допускаются к применению сварные трубы по стандарту DIN 1626. Трубы испытываются под давлением не менее 5 МПа.

Рабочее давление теплоносителя – до 1,6 МПа, максимальная температура – 130°C, допустимая кратковременная температура 140°C.

Наружная защитная оболочка изготавливается из полиэтилена низкого давления плотностью $\rho = 950 \text{ кг/м}^3$.

Теплоизоляция – пенополиуретан плотностью $\rho = 80 \text{ кг/м}^3$ с коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,027 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$ (рис. 10.4).

Для увеличения адгезии (сцепления с теплоизоляцией) поверхность трубы подвергается дробеструйной обработке. С этой же целью внутренняя поверхность полиэтиленовых труб обрабатывается электрическим коронным разрядом.

Взамен традиционных поворотов применяются гнутые трубы больших радиусов гнутья, причем трубы $D_y 25...85$ изгибаются с помощью приспособлений на месте монтажа, а $D_y 100$ и более изготавливаются на заводе. Изготовление криволинейных участков с диаметром $D_y 500$ и более производится сваркой отдельных частей труб со скошенным срезом с последующей изоляцией в сваренной оболочке. Длины гнутых участков, радиусы гнутья и углы определяются расчетом при проектировании.

Тепловые сети по системе АББ могут проектироваться и монтироваться с применением следующих технологий:

- предварительный подогрев;
- самокомпенсация;
- с применением разработанных Е-компенсаторов;
- холодный монтаж.

При монтаже с предварительным тепловым напряжением теплопровод подвергается предварительному нагреванию до 70°C, что соответствует изменению температуры на 60°C ($\tau_{\text{макс}} = 130^\circ\text{C}$, $\tau_{\text{мин.}} = 10^\circ\text{C}$). Первое перемещение после засыпки теплосети вследствие охлаждения ΔL_{60} ограничивается трением на наружной поверхности оболочки участков теплопровода, ближайших к поворотам. Это так называемые фрикционные отрезки ΔL_{60} , а участки трубопровода, находящиеся от поворота на расстоянии более чем ΔL_{60} , блокируются за счет сил трения оболочки о грунт и не имеют температурных перемещений за счет увеличивающегося внутреннего напряжения в стенках труб. Сила трения поверхности оболочки о грунт равна 12...15 Н/мм по диаметру оболочки на метр длины трубы.

Неподвижные опоры изготавливаются в виде железобетонного щита с закладными деталями, привариваемыми к трубопроводу.

Переходы диаметров труб также изготавливаются на заводе с предварительной их изоляцией.

Для присоединения отдельных потребителей к теплосети применяются легкогнущиеся трубы с предварительной их изоляцией, которые поставляются на катушках (рис. 10.5). Диаметр труб 20/63 и 28/90 (в числителе наружный диаметр трубы, в знаменателе диаметр оболочки в мм).

Трубы изготавливаются из стали Ст 30, изоляция из пенополиуретана, наружная оболочка из стойкого полиэтилена высокой плотности, гофрированная. Запорная арматура на ответвлениях к потребителям от магистральной или распределительной сети не устанавливается.

Система аварийной сигнализации предназначена для подачи соответствующего сигнала о месте увлажнения теплоизоляционного слоя, что позволяет своевременно устранить повреждение. Механизм действия системы основан на изменении сопротивления при увлажнении изоляции.

Два неизолированных медных провода помещены в слой изоляции. Один провод оголенный, другой – луженый оловом. Первый провод является сигнальным, луженый – для подачи сигнала тревоги. Соединяют провода отдельных труб обжимкой с последующей пайкой, в местах соединений под луженый провод подкладывают сухие фетровые подкладки, являющиеся индикатором увлажнения изоляции.



Рис. 10.5. Предизолированная легкогнущаяся труба.

Готовые детали теплопроводов с изоляцией (отводы, клапаны) имеют заложенные в изоляционный слой два провода.

Монтаж системы аварийной сигнализации производится одновременно с монтажом теплопроводов. Качество сборки по участкам контролируется испытательным прибором с автономным питанием.

Сигнальные провода выводятся в специальные коробки, которые устанавливаются в котельной, подвалах или помещениях, куда осуществляются вводы теплосети.

Детектор – прибор для непрерывного контроля трубопроводов длиной до 1000 м, регистрирует разрывы и увлажнение изоляции, в этом случае загорается красный свет. Место повреждения определяется с помощью специального обслуживающего устройства. Детектор присоединяется к системе труб через устанавливаемые коробки. Прибор для централизованного контроля и обнаружения мест повреждений контролирует участок сети до 1000 м по 4 линиям. Устанавливается постоянно, подключается к сети переменного тока 220 В. Прибор постоянно посылает закодированные импульсные сигналы по луженому проводу. Если сигналы встречают неисправности в виде коротких замыканий или обрывов проводов, а также увлажнения фетровых прокладок и, соответственно, изоляции, сигналы будут отражаться и поступать обратно в прибор. Здесь отраженные сигналы преобразовываются в метраж с указанием номера участка схемы.

10.3 Термическое сопротивление теплопроводов

Транспортные потери теплоты зависят от конструкции тепловой изоляции и способов прокладки теплопроводов. Полное термическое сопротивление изолированного теплопровода, уложенного в канале, складывается из термических сопротивлений: 1) теплоотдаче от теплоносителя к внутренней поверхности трубы R_6 , $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$; 2) теплопроводности стенки трубы R_t ; 3) теплопроводности антикоррозионного покрытия, основного и покровного слоев изоляции $R_{и}$; 4) теплоотдаче от наружной поверхности изоляции в окружающую среду $R_{н}$; 5) теплоотдаче от воздуха в канале к внутренней поверхности стенок канала $R_{нк}$ 6) теплопроводности стенок канала R_k 7) теплопроводности грунта R_r :

$$R = R_6 + R_t + R_{и} + R_{н} + R_{нк} + R_k + R_r \quad (10.1)$$

Термические сопротивления антикоррозионного и покровного слоев обычно малы, в практических расчетах ими допускается пренебрегать, используя небольшой теплоизолирующий эффект этих слоев в качестве запа-

са. В бесканальных прокладках значения величин $R_{\text{пк}}$ и $R_{\text{к}}$ ввиду отсутствия стенок канала не учитываются.

При прокладке теплопроводов на открытой площадке или в закрытом помещении полное термическое сопротивление теплопереходу от теплоносителя к окружающему воздуху определяется суммой

$$R = R_{\text{е}} + R_{\text{Г}} + R_{\text{и}} + R_{\text{н}} \quad (10.2)$$

Термические сопротивления и удельные тепловые потери относят обычно к 1 м длины теплопровода. *Термическое сопротивление поверхности* для цилиндрических тел определяется по формуле

$$R = \frac{1}{p \cdot d \cdot a}, \quad (10.3)$$

где $p \cdot d$ – поверхность трубопровода длиной 1 м; a – коэффициент теплоотдачи на поверхности, Вт/м²°С.

В формулах (10.1) и (10.2) к термическому сопротивлению поверхности относятся $R_{\text{е}}, R_{\text{и}}, R_{\text{пк}}$. Коэффициенты теплоотдачи от воды или пара к внутренней стенке трубы велики, поэтому величиной $R_{\text{е}}$ можно пренебречь, считая, что температура на внутренней стенке трубы равна температуре теплоносителя.

При расположении горячих объектов на открытом воздухе, в закрытых помещениях и в каналах переход теплоты от наружной поверхности изоляции в окружающий воздух происходит лучеиспусканием и конвекцией. Раздельное определение коэффициентов теплоотдачи лучеиспусканием и конвекцией не обеспечивает надлежащей точности расчета ввиду сложности определения исходных параметров. Поэтому в практике расчетов тепловой изоляции сложный теплообмен характеризуют суммарным коэффициентом теплоотдачи наружной поверхности $a_{\text{н}}$

Значения коэффициентов $a_{\text{н}}$ для цилиндрических поверхностей определяют по приближенным формулам:

для объектов в закрытых помещениях с температурой на поверхности изоляции $t_{\text{нов}} < 150^{\circ}\text{C}$

$$a_{\text{н}} = 10,3 + 0,052(t_{\text{нов}} - t_0), \quad (10.4)$$

для объектов на открытом воздухе

$$a_n = 11,6 + 7\sqrt{w}, \quad (10.5)$$

где t_0 – температура окружающей среды (воздуха), °C; w – скорость движения воздуха, м/с (при отсутствии данных принимается 10 м/с).

Термическое сопротивление теплоотдачи наружной поверхности изолированного трубопровода определяют по формуле (10.3) при подстановке в нее a_n и значения диаметра изоляции d_n .

При определении $R_{пк}$ в формуле (10.3) принимается эквивалентный диаметр внутреннего контура канала d_3 , рассчитываемый по формуле:

$$d_3 = 4F/P_в, \quad (10.6)$$

где F – площадь сечения канала, м²; $P_в$ – периметр внутреннего контура канала, м.

Значение коэффициента теплоотдачи от воздуха к стенкам канала можно принимать $a_{нк} = 8 \text{ Вт/м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Термическое сопротивление слоя для цилиндрических тел выводится из уравнения

$$R_c = \frac{1}{2pl} \ln \frac{d_2}{d_1}, \quad (10.7)$$

где l – коэффициент теплопроводности слоя, Вт/м°C; d_1, d_2 – внутренний и наружный диаметры слоя, м.

К термическому сопротивлению слоя относятся R_T, R_u, R_k, R_z . Незначительным термическим сопротивлением стенок труб R_T в расчетах обычно пренебрегают, при этом принимают температуру на наружной поверхности трубы равной температуре теплоносителя. Термическое сопротивление теплопроводности грунта определяют по формуле:

$$R_z = \frac{1}{2pl} \ln \left(2 \frac{h}{d} + \sqrt{4 \frac{h^2}{d^2} - 1} \right), \quad (10.8)$$

где l_z – коэффициент теплопроводности грунта; h – глубина заложения оси теплопровода, м; d – диаметр теплопровода, м.

При глубине заложения трубопровода $h/d \geq 1,25$ формула упрощается:

$$R_s = \frac{1}{2pl_T} \ln 4 \frac{h}{d} \quad (10.9)$$

Термическое сопротивление стенок канала рассчитывают по формуле (10.7) при подстановке в нее эквивалентных диаметров по наружному и внутреннему контурам канала. Если теплопроводность стенок канала не известна или отсутствуют данные по наружному периметру канала, то общее термическое сопротивление стенок канала и грунта определяют по формулам (10.8) или (10.9) при подстановке в них эквивалентного диаметра канала, рассчитанного по внутреннему контуру.

Температурное поле грунта на глубине до 0,7 м находится под влиянием колебаний температуры наружного воздуха, на большей глубине этим влиянием можно пренебречь. В связи с этим при глубине заложения теплопроводов $h \leq 0,7$ м подсчет тепловых потерь должен производиться по температуре грунта, равной среднегодовой температуре наружного воздуха. В этом случае в формулах (10.8), (10.9) принимается приведенная глубина заложения

$$h_{np} = h + l_z / a_0 \quad (10.10)$$

где h – действительная глубина заложения; a_0 – коэффициент теплоотдачи на поверхности грунта ($a_0 = 2 - 3$ Вт/м²°С). Коэффициент теплопроводности грунта зависит от вида и влажности грунта. При отсутствии сведений о грунте коэффициенты теплопроводности можно принимать равными: для сухих грунтов – 0,55; для маловлажных грунтов – 1,1; для средневлажных грунтов – 1,7; для сильновлажных грунтов – 2,3 Вт/м°С.

10.4 Тепловой расчет надземных теплопроводов

Основной задачей теплового расчета теплопроводов всех видов прокладок является выбор конструкции тепловой изоляции, обеспечивающей рациональный минимум тепловых потерь и допустимое падение температуры теплоносителя. В ряде случаев тепловые расчеты производят для определения температурного поля вокруг теплопроводов и других практических задач.

Удельные тепловые потери теплопроводов воздушной прокладки (в Вт/м) составляют:

$$q = (t - t_0) / R, \quad (10.11)$$

где t – температура теплоносителя; t_0 – расчетная температура окружающей среды; R – полное термическое сопротивление теплопровода.

Температуру на поверхности тепловой изоляции рассчитывают на основе уравнения теплового баланса при установившемся тепловом режиме. Для установившихся режимов теплота, поступающая от теплоносителя к наружной поверхности изоляции, в том же количестве отводится от поверхности изоляции к окружающему воздуху. Математически этот переход теплоты записывается равенством:

$$\frac{t - t_{нов}}{R_u} = \frac{t_{нов} - t_0}{R_n} \quad (10.12)$$

Решая его относительно температуры на поверхности изоляции получим

$$t_{нов} = \frac{t / R_u + t_0 / R_n}{1 / R_u + 1 / R_n} \quad (10.13)$$

Совместная прокладка трубопроводов на открытом воздухе или в помещении не оказывает существенного влияния на теплотери соседних трубопроводов. При температуре воздуха + 25°C температура на поверхности изоляции в зоне постоянного обслуживания теплопроводов должна быть не выше + 45°C для закрытых помещений и + 60°C на открытом воздухе. За расчетную температуру окружающей среды принимают годовую температуру наружного воздуха.

10.5 Тепловой расчет подземных теплопроводов

Полное термическое сопротивление одиночного изолированного теплопровода бесканальной прокладки (рис. 10.6) равно:

$$R = R_u + R_z, \quad (10.14)$$

а удельные тепловые потери определяются по формуле (10.11).

При двухтрубной бесканальной прокладке в результате тепловых потерь вокруг теплопроводов в грунте образуются температурные поля (рис. 10.7), которые, воздействуя друг на друга, способствуют уменьшению теплопотерь каждой трубы в отдельности. Снижение тепловых потерь будет тем больше, чем выше температура грунта вокруг соседнего трубопровода. Следовательно, влияние соседнего трубопровода равноценно увеличению термического сопротивления для рассматриваемой трубы. Это дополнительное условное термическое сопротивление определяют по формуле:

$$R_0 = \frac{1}{2pl_c} \ln \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{d} \right)^2}, \quad (10.15)$$

где b – расстояние между осями труб по горизонту, м.

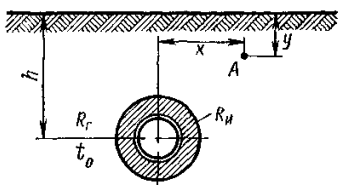


Рис 10.6 Расчетная схема бесканального однетрубного теплопровода

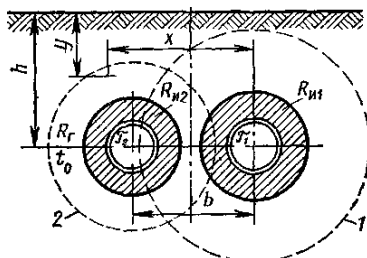


Рис 10.7 Расчетная схема бесканального двухтрубного теплопровода

1 – ориентировочное температурное поле, образующееся в грунте вокруг подающего трубопровода; 2 – то же вокруг обратного трубопровода

Может оказаться, что обратный трубопровод целиком будет охвачен температурным полем подающего трубопровода. Если при этом температура обратной воды будет равна температуре поля или будет ниже нее, то теплопотери обратного теплопровода могут отсутствовать или даже иметь отрицательное значение, т. е. будет происходить нагрев за счет теплопотерь подающей трубы. В этих условиях надобность тепловой изоляции об-

ратной трубы отпадает и для уменьшения теплопотерь подающей трубы целесообразна прокладка обратного трубопровода без изоляции.

Удельные тепловые потери с учетом величины R_0 определяют по формулам

$$q_1 = \frac{(t_1 - t_0)R_2 - (t_2 - t_0)R_0}{R_1 R_2 - R_0^2}; \quad (10.16)$$

$$q_2 = \frac{(t_2 - t_0)R_1 - (t_1 - t_0)R_0}{R_1 R_2 - R_0^2}, \quad (10.17)$$

где t_0 – расчетная температура окружающей среды, принимаемая для бесканальной прокладки и непроходных каналов равной среднегодовой температуре грунта на глубине заложения оси теплопровода; R_1 и R_2 – полные термические сопротивления первой и второй трубы, определяемые по формуле (10.14).

Нагрев почвы вокруг бесканальных теплопроводов не должен нарушать нормального функционирования подземных электрических кабелей и других коммуникаций, прокладываемых вблизи трассы тепловых сетей. Допустимые нормы сближения и пересечения электрических кабелей с тепловыми сетями проверяются расчетом по величине дополнительного нагрева грунта. Температуру в произвольной точке А вокруг одиночного трубопровода (рис. 10.6) определяют по формуле

$$t = t_0 + (t - t_0) \frac{\frac{1}{2p l_x} \sqrt{\frac{x^2 + (y+h)^2}{x^2 + (y-h)^2}}}{R}. \quad (10.18)$$

Температурное поле вокруг двухтрубного теплопровода (рис. 10.7) рассчитывают по формуле

$$t = t_0 + \frac{q_1}{2\pi\lambda_x} \sqrt{\frac{x^2 + (y+h)^2}{x^2 + (y-h)^2}} + \frac{q_2}{2\pi\lambda_x} \ln \sqrt{\frac{(x-b)^2 + (y+h)^2}{(x-b)^2 + (y-h)^2}}. \quad (10.19)$$

Отсчет расстояния x произвольной точки А производится от оси трубы, в которой протекает теплоноситель с большей температурой. При определении температуры почвы в температурном поле температура сетевой

воды принимается по температурному графику при среднемесячной температуре наружного воздуха расчетного месяца, а для паропроводов – максимальная температура пара на рассматриваемом участке. Расчетная температура окружающей среды для зимнего периода принимается равной нижней среднемесячной температуре грунта на глубине заложения оси теплопроводов, а для летнего – высшей среднемесячной температуре.

В одно- и многотрубных каналах переход теплоты от теплоносителя к грунту протекает по-разному, в связи с чем различаются методики тепловых расчетов.

В однотрубных каналах (рис. 10.8) при установившемся тепловом режиме поток теплоты от теплоносителя расходуется на нагрев воздуха в канале, затем теплота нагретого воздуха передается через стенки канала в грунт. Тепловой баланс такого теплоперехода выражается равенством

$$q = \frac{t - t_{\kappa}}{R_u + R_n} = \frac{t_{\kappa} - t_0}{R_{n\kappa} + R_{\kappa} + R_z}, \quad (10.20)$$

где t_{κ} – температура воздуха в канале.

Решая равенство (10.20) относительно t_{κ} , найдем

$$t_{\kappa} = \frac{t / (R_u + R_n) + t_0 / (R_{n\kappa} + R_{\kappa} + R_z)}{1 / (R_u + R_n) + 1 / (R_{n\kappa} + R_{\kappa} + R_z)}. \quad (10.21)$$

Температура воздуха в обслуживаемых каналах не должна превышать + 40°C. Заданный уровень температуры обеспечивается подбором толщины изоляции и вентиляцией воздуха в канале.

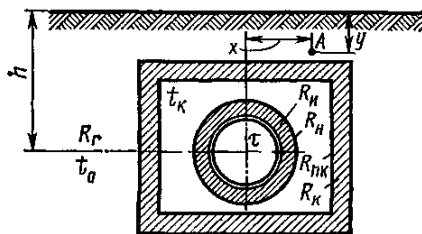


Рис.10.8. Расчетная схема однотрубного теплопровода канальной прокладки

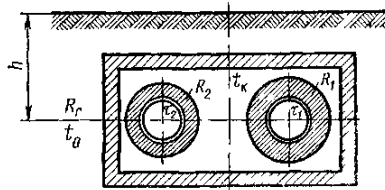


Рис.10.9. Расчетная схема двухтрубного теплопровода канальной прокладки

В многотрубном одноячейковом канале (рис. 10.9) тепловые потоки от каждого трубопровода нагревают воздух в канале, затем общий тепловой поток от нагретого воздуха через стенки канала рассеивается в грунте. При таком теплопереходе тепловые потери одного трубопровода зависят от теплопотерь других трубопроводов. Для определения теплопотерь каждого трубопровода необходимо прежде всего определить температуру воздуха в канале. Обозначим сумму термических сопротивлений слоя R_u и наружной поверхности изоляции R_H первой и второй трубы R_1 и R_2 , температуры теплоносителей соответственно через t_1 и t_2 . Сумму термических сопротивлений $(R_{\kappa} + R_{\kappa} + R_c)$ обозначим R_3 . При этих обозначениях уравнение теплового баланса запишется в виде

$$\frac{t_1 - t_{\kappa}}{R_1} + \frac{t_2 - t_{\kappa}}{R_2} = \frac{t_{\kappa} - t_0}{R_3} \quad \text{или} \quad q_1 + q_2 = q, \quad (10.22)$$

где q_1, q_2 – удельные тепловые потери первого и второго трубопроводов, Вт/м; q – суммарные удельные теплопотери в грунт.

Из равенства (10.22) легко получить искомую температуру воздуха в канале:

$$t_{\kappa} = \frac{t_1/R_1 + t_2/R_2 + t_0/R_3}{1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3} \quad (10.23)$$

Определив температуру воздуха в канале, по формуле (10.22) находят потери теплоты каждым трубопроводом. Температурное поле вокруг одноячейкового канала рассчитывают по формуле (10.18), в которой вместо t принимают температуру воздуха в канале, а под величиной R подразумевают сумму термических сопротивлений внутренней поверхности канала, стенок канала и грунта.

10.6 Тепловые потери в тепловых сетях

При транспорте теплоты по трубам возникают линейные Q_l и местные Q_m тепловые потери.

Линейные потери теплоты по длине прямых или криволинейных (повороты, отводы, колена П-образных компенсаторов) участков труб определяют по формуле

$$Q_{\text{л}} = ql, \quad (10.24)$$

где q – удельные тепловые потери, Вт/м; l – длина трубопровода, м.

Местные тепловые потери возникают в результате стока теплоты через опорные конструкции, фланцевые соединения, запорно-регулирующую арматуру, сальниковые компенсаторы и прочие фасонные изделия. Эти потери определяются приближенно и различными способами. При известном количестве элементов тепловой сети их тепловые потери принимают по справочной литературе в зависимости от температуры теплоносителя, способа прокладки труб и конструкции теплоизоляции. Второй способ основан на использовании эквивалентных длин фланцев, арматуры, опор, тепловые потери которых равновелики тепловым потерям прямых участков труб того же диаметра:

$$Q_{\text{м}} = ql_{\text{э}}, \quad (10.25)$$

где $l_{\text{э}}$ – суммарная эквивалентная длина фланцев, арматуры, опор и прочих элементов тепловой сети, м.

При этом способе учета дополнительных потерь теплоты фактическая длина теплопровода условно увеличивается на длину, эквивалентную по теплопотерям арматуре, фланцам и прочим элементам, установленным на этом трубопроводе. В практических расчетах эквивалентную длину можно принимать равной: а) для пары неизолированных фланцев – 8–10 м изолированного трубопровода того же диаметра; б) для пары изолированных фланцев – 1–1,5 м изолированного трубопровода того же диаметра; в) для неизолированной арматуры диаметром 100–500 мм – 12–24 м изолированного трубопровода тех же диаметров при температуре теплоносителя соответственно 100 и 400°C. Тепловые потери через неизолированные опоры ориентировочно могут быть приняты в размере 10–12% от линейных потерь трубопроводов. При отсутствии данных о количестве опор, компенсаторов, фланцев и арматуры на трубопроводе дополнительные потери теплоты этими элементами при условии их изолирования учитываются расчетом по формуле:

$$Q = Q_{\text{л}} + Q_{\text{м}} = ql(1 + b_1), \quad (10.26)$$

где b_1 – поправочный коэффициент к линейной длине трубопровода, учитывающий эквивалентную длину изолированных элементов тепловой

сети (для бесканальных прокладок $b_1 = 1,15$, для каналов и тоннелей – 1,2 для надземных теплопроводов – 1,25).

Коэффициент эффективности тепловой изоляции оценивается выражением

$$h_u = 1 - Q_u / Q_n, \quad (10.27)$$

где Q_n и Q_u – теплотери неизолированной и изолированной трубы. Значения коэффициентов эффективности изоляционных конструкций должны быть в пределах $h_u = 0,85-0,95$.

Транспортные потери теплоты вызывают падение температуры теплоносителя, вследствие этого удельные теплотери по длине трубопровода изменяются. На участках теплопроводов небольшой протяженности и уменьшения температуры теплоносителя не более 5% от начального значения для упрощения расчетов можно принимать удельные тепловые потери неизменными для всей длины теплопроводов. Исходя из этого уравнение теплового баланса, выражающее равенство потерь теплоты и уменьшение теплосодержания теплоносителя, записывается в виде

$$ql(1 + b_1) = Gc(t_1 - t_2) \quad (10.28)$$

где q – удельные тепловые потери в начале участка теплопровода; G – расход теплоносителя, кг/ч; c – теплоемкость теплоносителя; t_1 и t_2 – температура теплоносителя в начале и конце участка.

Температура водяного теплоносителя в конце расчетного участка определится из выражения

$$t_2 = t_1 - \frac{ql(1 + b_1)}{Gc} \quad (10.29)$$

Применительно к пару необходимо учитывать падение теплосодержания, которое по аналогии определится по формуле

$$i_2 = i_1 - \frac{ql(1 + b_1)}{G}. \quad (10.30)$$

Определяют давление в конце участка P_2 и энтальпию i_2 по таблицам водяного пара определяют t_2 .

10.7 Методика расчета толщины изоляции

Принятая конструкция теплоизоляции должна иметь толщину не выше установленных норм и обеспечивать: заданные пределы изменения температуры теплоносителя на всех участках тепловой сети; допустимую температуру на поверхности изоляции; непревышение нормативных теплотерь. В общем случае толщина изоляции может быть определена по нормативным теплотерям. Для чего, приняв допустимые удельные теплотери (q , Вт/м), по формуле:

$$q = (t - t_0) / R \quad (10.39)$$

определяют требуемую величину полного термического сопротивления изоляции

$$R = \frac{t - t_0}{q}, \quad (10.40)$$

где t – температура теплоносителя,

t_0 – расчетная температура окружающей среды.

Задавшись ориентировочным диаметром изоляции $d_{и}$ (в пределах рекомендуемых толщин слоя), определяют термическое сопротивление изоляции R_u по формуле:

$$R_u = \frac{1}{p \cdot d \cdot a}, \quad (10.41)$$

где d – диаметр трубопровода с изоляцией.

Потребная толщина слоя изоляции найдется из равенства,

$$R_c = \frac{1}{2pl} \ln \frac{d_2}{d_1}, \quad (10.42)$$

приведенного к виду

$$\ln \frac{d_u}{d_{и}} = 2pl_u R_u, \quad (10.43)$$

где d_n – наружный диаметр изолируемой трубы; R_n – термическое сопротивление слоя изоляции, $R_n = R - R_{in}$. При несовпадении исходного и расчетного значений d_n расчет повторяется методом последовательного приближения. Выбор толщины изоляции определяется соображениями технической и экономической целесообразности. Рациональная конструкция изоляции может быть решена двояким путем: 1) применением различных изоляционных материалов с одинаковой толщиной слоя, обеспечивающей требуемый теплоизолирующий эффект; 2) применением конкретного изоляционного материала путем изменения только толщины слоя. В первом случае преобладающим фактором в выборе экономически выгодной толщины изоляции является сопоставление стоимости 1 м изоляционной конструкции двух или нескольких материалов.