



ГРУППА

ПОЛИПЛАСТИК

ЧЕБОКСАРСКИЙ ТРУБНЫЙ ЗАВОД

VI

**ОСОБЕННОСТИ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕТЕЙ
БЕСКАНАЛЬНОЙ ПРОКЛАДКИ**

VI. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕТЕЙ БЕСКАНАЛЬНОЙ ПРОКЛАДКИ

6.1. Основные положения

Проекты трубопроводов и их элементов, а также проекты их монтажа и реконструкции должны выполняться специализированными организациями. Проектирование теплотрассы предусматривает разработку следующих основных технических решений:

1. Определение необходимой толщины стенки изолированных труб и фасонных изделий.
2. Гидравлический расчет.
3. Выбор толщины (типа) тепловой изоляции и проверочный расчет тепловых потерь.
4. Выбор по каталогу труб и фасонных деталей.
5. Поверочный расчет трубопроводов на статическую прочность.
6. Поверочный расчет на устойчивость.
7. Расчет температурных удлинений:
 - 7.1. Определение компенсирующей возможности естественных поворотов Г- и Z-образной формы.
 - 7.2. Определение длины вылетов для дополнительных Г-, Z- и П-образных компенсаторов.
 - 7.3. Расчет и выбор дополнительных сильфонных компенсирующих устройств.
 - 7.4. Расчет габаритов неподвижных опор и выбор мест их установки.

8. Разработка трассировки, выбор мест установки отводов, устройства тепловых камер и установки арматуры, разбивка трассы на расчетные участки, выполнение чертежей плана, профиля трассы, вводов и т.д.
9. Проектирование системы оперативного дистанционного контроля состояния тепловой изоляции.
10. Выбор способов и элементов соединения изолированных труб и фасонных изделий.
11. Выбор метода прокладки труб и способов компенсации стартовых напряжений на расчетных участках.
12. Требования безопасности и меры по недопущению увлажнения теплоизоляции при транспортировании, хранении изолированных труб и фасонных изделий, а также при выполнении монтажных работ.
13. Охрана окружающей среды.

За выбор рациональной схемы трубопровода и его конструкции, правильность расчетов на прочность и на компенсацию тепловых удлинений, за соответствие рабочих параметров установленным пределам применения выбранных материалов, за размещение опор, выбор метода прокладки, а также за соответствие его нормативным требованиям несет ответственность организация, разработавшая проект трубопровода.

6.2. Особенности расчетов на прочность трубопроводов бесканальной прокладки

Бесканальная прокладка тепловых сетей имеет определенную специфику. Трубопроводные трассы имеют зоны скольжения, в которых осуществляется компенсация температурных расширений за счет угловых и линейных деформаций, и зоны неподвижности, в которых температурные расширения компенсируются осевыми напряжениями растяжения-сжатия. Зоны скольжения обычно имеют место вблизи углов поворота трассы, а неподвижные зоны на длинных прямых участках. При отсутствии зон неподвижности между смежными зонами скольжения образуются естественные неподвижные точки – так называемые мнимые неподвижные опоры.

Благодаря сопротивлению грунта продольным и боковым перемещениям на порядок возрастают осевые усилия, вследствие чего такие трубопроводы имеют более низкую компенсирующую способность, чем трубопроводы канальной или наружной прокладки, и в то же время значительно более высокие нагрузки на концевые неподвижные опоры в зонах скольжения. Под компенсирующей способностью понимается восприятие температурных расширений за счет гибкости трубопроводной трассы.

Согласно п. 3.4. СП-41-105 «Проектирование и строительство тепловых сетей бесканальной прокладки

из стальных труб с индустриальной тепловой изоляцией из пенополиуретана в полиэтиленовой оболочке» расчет прочности стального трубопровода ограничивается расчетом на статическую прочность. Если условия статической прочности не могут быть выполнены, то рекомендуется производить расчет на циклическую прочность в соответствии с РД 10-400-2001 или с помощью компьютерных программ.

Расчеты прочности бесканальных трубопроводов могут быть существенно упрощены на основе ряда допущений и новом для бесканальной прокладки понятии «расчетный участок». При этом используются некоторые формулы, отсутствующие в существующих нормативных документах.

Расчеты по оценке статической прочности трубопроводов основаны на критериальной зависимости

$$\sigma_3 < \sigma_{\text{доп}}, \quad (1)$$

В этом уравнении σ_3 – эквивалентное напряжение, которое включает в себя обе компоненты напряжений σ_x и σ_r , т.е. более полно учитывает характер нагружения материала стальной трубы; $\sigma_{\text{доп}}$ – допускаемое напряжение стальной трубы.

Для условий работы прямолинейных участков трубопроводов теплосетей величина σ_3 определяется по формуле:

$$\sigma_3 = \sqrt{(\sigma_x^2 + \sigma_t^2 - (\sigma_x \cdot \sigma_t))}, \quad (2)$$

где σ_x – [Н/мм²] – напряжение, действующее вдоль оси трубопровода, равное:

$$\sigma_x = F_{тр} / S_{ст}, \quad (3)$$

а σ_t – [Н/мм²] – окружное (тангенциальное) напряжение, которое вычисляется как:

$$\sigma_t = (R/\delta) \cdot P, \quad (4)$$

Буквенные обозначения в формулах (2), (3), (4) означают следующее:

P – [Н/мм²] – давление теплоносителя;

$S_{ст}$ – [мм²] – площадь поперечного сечения стальной трубы;

R – [м] – внутренний радиус стальной трубы;

δ – [м] – толщина стенки стальной трубы;

$F_{тр}$ – [Н] – сила трения между полиэтиленовой оболочкой трубопровода и грунтом.

Условия прочности для стальной трубы будут выполнены, если выполняется неравенство (1).

Как уже отмечалось выше, напряженное состояние трубопроводов теплосети определяется двумя величинами: напряжением в осевом направлении трубы σ_x и окружным напряжением σ_t .

Расчеты включают в себя определение изменения длины трубопроводов, вызванное соответствующими изменениями температуры теплоносителя, для выбора тех или иных компенсирующих элементов, а также расчетное определение монтажных температур.

Следует отметить, что согласно РД 10-400-01 и СП 41-105-2002 за расчетную температуру трубы тепловых сетей принимается значение +130°C с возможностью кратковременного воздействия температуры +150°C, поэтому в приводимых ниже примерах приводятся значения рабочей температуры в диапазоне +130...+150°C.

Если трубопровод смонтирован и засыпан грунтом при температуре монтажа (температура трубы в момент заварки последних стыков) $T_{монт} = +10^\circ\text{C}$, то осевые напряжения в трубопроводе $\sigma_x = 0$. При последующем разогреве трубопровода до температуры $T_{расч} = +130^\circ\text{C}$ в материале стальной трубы развиваются осевые температурные напряжения σ_x , величина которых может достигать:

$$\sigma_x = E \cdot \alpha \cdot \Delta T = 2,08 \cdot 10^5 \cdot 12 \cdot 10^{-6} \cdot 120 = 300 \text{ Н/мм}^2,$$

где E – модуль упругости стали, МПа, Н/мм²;

α – коэффициент температурного расширения стали, 1°C;

ΔT – изменение температуры, °C.

Это заметно превышает предел текучести применяемых сталей. **Следовательно, использование стальных труб любой длины в этом температурном диапазоне без использования устройств для компенсации температурных удлинений недопустимо.**

Значения допускаемых напряжений $\sigma_{доп}$, МПа, (Н/мм²), согласно СП 41-105-2002 (п. 4.10) для электросварных труб и фасонных деталей, наиболее часто применяемых в тепловых сетях, приведены в таблице 44.

В соответствии с номенклатурным перечнем на стальные трубы, применяемым для изготовления труб с ППУ изоляцией с гидроизолирующей оболочкой (см. раздел 1.1. каталога), а также фасонных деталей трубопроводов из углеродистой и низколегированной стали по ГОСТ 17380-2001 (ИСО 3419-81) предел текучести вышеперечисленных и других марок стали фактически составляет 220–270 (Н/мм²).

Таким образом, в правильно спроектированном и построенном трубопроводе нам необходимо добиться такого состояния, при котором типичные колебания температуры теплоносителя от +10°C до +130°C будут вызывать изменения осевой составляющей напряжений в интервале от –150 [Н/мм²] до +150 [Н/мм²]. При этом, в отличие от методик расчета, приводимых в СП 41-105-2002 и РД 10-400-01, нами не учитывается воздействие давления в трубопроводе и веса заполненной теплоносителем трубы, и поэтому не используется значение допустимого напряжения $\sigma_{доп}$ с повышающим коэффициентом 1,25. Данный коэффициент мы будем использовать исключительно для расчетов характеристик осевых сильфонных компенсаторов типа СК или СКУ по предельно допустимому значению осевой компоненты напряжений σ_x .

При бесканальной прокладке трубопроводов в ППУ изоляции трубопроводы укладываются непосредственно в грунт. В процессе разогрева и охлаждения трубопроводы испытывают подкрепляющее воздействие грунта, что необходимо учитывать в расчетах. Подкрепляющее действие грунта позволяет наряду с приведенными выше допущениями сделать еще один важный шаг к упрощению расчетов, который можно сформулировать следующим образом:

Возможно выполнить такое разделение произвольной теплотрассы на отдельные участки, при котором температурные расширения (сокращения) отдельного участка не оказывают никакого влияния на работу других участков.

Такое разделение позволяет производить расчеты прочности и схем компенсации отдельно взятого участка теплотрассы независимо от расчетов других участков теплотрассы. Далее такой участок будем называть расчетным. Такой участок теплотрассы можно не только рассчитывать независимо от других участков теплотрассы, но и строить как самостоятельный объект.

Трубопроводы и фасонные детали, поставляемые ООО «Чебоксарский трубный завод», позволяют строить теплотрассы произвольной конфигурации, составленные

Таблица 44 – Номинальные допускаемые напряжения $\sigma_{доп}$, МПа, для стальных труб

Температура, °C	Марка стали				
	ВСтЗспЗ	10	20	17 ГС, 17 ПС, 17 Г1 СУ	09 Г2 С
20	150	150	150	208	208
100	142	150	150	208	208
150	134	144	146	201	195

из прямолинейных участков. В этом случае расчетным является участок теплотрассы, составленный из прямолинейных отрезков трубопроводов, границами которого могут служить неподвижные опоры и естественные компенсаторы в произвольном сочетании. Здесь под естественными компенсаторами понимаются компенсаторы, образованные одним или несколькими отводами с углом поворота более 45° , которые служат для изменения направления теплотрассы в соответствии с ее проектной конфигурацией. Эти отводы одновременно выполняют функцию компенсации температурных расширений, т. е. представляют собой Г-образные компенсаторы, а при определенных расстояниях между ними могут образовывать Z-образные или П-образные компенсаторы. Все другие компенсаторы, которые включаются в теплотрассу исключительно для выполнения функции компенсации температурных расширений, будем называть дополнительными.

Если расчетный участок заканчивается естественным компенсатором, то при его анализе необходимо проверить, достаточна ли его компенсирующая способность для поглощения температурных расширений трубопроводов рассматриваемого расчетного участка.

6.3. Расчет температурных напряжений и перемещений

Рассмотрим упрощенную методику расчета статической прочности трубопровода и его элементов с учетом следующих допущений:

1. Три элемента изолированного трубопровода: стальная труба, пенополиуретановая теплоизоляция и полиэтиленовая гидрозащитная оболочка представляют собой единое тело (так называемая скрепленная система).
2. Механические усилия и напряжения в пенополиуретановой теплоизоляции и в полиэтиленовой оболочке пренебрежимо малы по сравнению с усилиями и напряжениями в стальной трубе.
3. Деформации и перемещения всех трех компонентов трубопровода одинаковы и равны деформациям и перемещениям стальной трубы.
4. Изолированный трубопровод рассматривается как идеально упругое тело.
5. Принимается, что сложный процесс взаимодействия трубопровода с грунтом с достаточной точностью моделируется одной единственной величиной – коэффициентом трения между полиэтиленовой оболочкой и грунтом, имеющим постоянное значение $\mu=0,4$.
6. Осевые усилия в стальной трубе, которые возникают от изгиба компенсирующих плеч Г-образных, Z-образных и П-образных компенсаторов, сжатия-растяжения сильфонных и стартовых компенсаторов, а также от действия давления теплоносителя, пренебрежимо малы по сравнению с осевыми усилиями в стальной трубе, возникающими от действия сил трения между оболочкой и грунтом, и не оказывают влияния на температурные изменения длины трубопровода.

Если расчетный участок содержит одно или несколько тройниковых ответвлений, то трубопроводы ответвлений также включаются в этот расчетный участок, причем одним концом трубопровода ответвления является тройник, а другой конец может заканчиваться неподвижной опорой или естественным компенсатором.

В том случае, когда уровень напряжений на опорах некоторого расчетного участка превышает допустимое значение либо этот расчетный участок содержит отводы с углом меньше 45° , естественные компенсаторы с недостаточной компенсирующей способностью или тройники, расположенные далеко от зоны минимальных перемещений на этом расчетном участке, **необходимо установить дополнительные компенсаторы или провести уточняющий расчет возникающих напряжений с помощью специализированных программных продуктов.**

Проект наружной части теплосети должен предусматривать установку неподвижных опор на входе в здание и тем самым защищать трубопроводы внутренней части теплосети от температурных расширений наружных трубопроводов, если прямолинейный участок трубопровода, непосредственно входящий в здание, имеет длину более 10 м.

7. При расчетах перемещений точек трубопровода, вызванных изменениями его температуры, пренебрегаем влиянием коэффициента Пуассона (поперечная деформация элемента тела).

С увеличением температуры элементы трубопровода расширяются, и в них возникают механические напряжения. Рассмотрим два предельных случая температурного нагружения трубопроводов.

В первом случае труба нагрета равномерно по длине и по толщине стенки, и расширение происходит свободно, т. е. труба не закреплена. В этом случае длина трубы увеличивается до максимального размера, соответствующего температуре разогрева, а напряжения в трубе отсутствуют.

Второй предельный случай состоит в том, что концы разогреваемой трубы неподвижны. В этом случае увеличение длины трубопровода не происходит, но в трубе возникают максимальные по величине сжимающие напряжения.

Отмеченные выше две крайние ситуации встречаются редко. Чаще имеют место промежуточные условия температурного нагружения, когда трубопровод частично расширяется и в нем возникают температурные напряжения.

Пример 1.

Длина трубы длиной L увеличилась при нагревании на величину ΔL , причем труба расширяется свободно. Тогда удлинение трубы ΔL можно вычислить по формуле:

$$\Delta L = \alpha \cdot \Delta T \cdot L, \quad (5)$$

где α – коэффициент температурного расширения стальной трубы.

ΔT – приращение температуры, $^\circ\text{C}$.

Отсюда величина относительного удлинения трубы или ее деформация равна:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = \alpha \cdot \Delta T, (6)$$

При значениях $L=10$ м, $\Delta T=100^\circ\text{C}$, $\alpha=12 \cdot 10^{-6}$, получим $\Delta L=0,012$ м=12 мм. При этом напряжений в трубе нет, т. е. $\varepsilon=0$.

Пример 2.

Оба конца той же трубы жестко закреплены. Температура трубы увеличивается на величину ΔT . Удлинение трубы равно нулю, т. е. $\Delta L=0$ и, соответственно,

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{0}{L} = 0, (7)$$

В материале стальной трубы возникают постоянные по всей длине трубы температурные напряжения, которые равны:

$$\sigma_x = -E \cdot \alpha \cdot \Delta T, (8)$$

где E – модуль упругости материала стальной трубы.

При значениях $\Delta T=100^\circ\text{C}$, $\alpha=12 \cdot 10^{-6}$, как и в примере 1, и $E=2,08 \cdot 10^5$ Н/мм², получим $\Delta L=0$, $\sigma_x=240$ Н/мм².

Для преодоления этой особенности температурных нагрузений в теории упругости используется метод устранения деформаций. Этот метод состоит в том, что сначала мы (мысленно) предоставили возможность нагретой трубе свободно расширяться, а затем сжали ее до первоначального размера, например, с помощью некоторого механического устройства, и тем самым сообщили трубе деформацию, в точности равную температурной, но противоположную по знаку. В трубе появятся напряжения, несмотря на то, что первоначальный размер трубы не изменился и деформации равны нулю.

Сила трения между грунтом и трубопроводом, действующая на единицу длины трубопровода (т. е. на один метр), рассчитывается по формуле:

$$f_{\text{тр}} = \frac{\pi \cdot D \cdot \rho \cdot \mu \cdot g(1 + K_0)}{2} \cdot h [\text{Н/м}], (9)$$

где D – внешний диаметр полиэтиленовой оболочки [м], z – расстояние от поверхности почвы до оси трубопровода [м], $\rho=1800$ [кг/м³] – плотность грунта, $\mu=0,4$ – коэффициент трения, $K_0=0,5$ – калибровочный коэффициент, $g=9,8$ [м/с²] – ускорение свободного падения.

Суммарная сила трения $F_{\text{тр}}$, действующая на прямолинейный участок трубопровода, засыпанного грунтом, концы которого являются свободными или заканчиваются компенсаторами, длины L диаметром D , при постоянном значении расстояния от поверхности грунта до оси трубы z , т. е. при постоянной силе $f_{\text{тр}}$, равна простому произведению:

$$F_{\text{тр}} = f_{\text{тр}} \cdot L, (10)$$

На прямолинейном участке трубопровода, концы которого являются свободными или заканчиваются компенсаторами, естественным образом возникает неподвижная

точка, от которой стальная труба расширяется в обоих направлениях. В этом случае говорят, что в данной точке возникает мнимая неподвижная опора. В частности, если длина такого участка равна L , толщина слоя засыпки (глубина траншеи) постоянна, и диаметр трубопровода на этом участке не изменяется, то мнимая неподвижная опора возникает в средней точке этого участка, т. е.

$$L_0=L/2, (11)$$

Расчет трубопроводов сводится к определению температурных напряжений в стальной трубе, определению величин перемещений в местах установки компенсаторов для обеспечения свободного перемещения этих точек трубопровода и определению значений монтажных температур. **Максимальные напряжения в материале стальной трубы возникают, очевидно, в точках установки неподвижных опор либо в точках возникновения мнимых опор.** Расчет прочности производится именно для этих точек. Поэтому для расчета прочности необходимо знать места установки неподвижных опор и вычислить положение мнимых опор.

Перемещения трубопровода рассчитывают для того, чтобы определить длину и количество слоев компенсирующих матов, которые должны обеспечивать свободное перемещение плеч компенсаторов трубопровода при рабочих изменениях температуры.

Максимальные перемещения на прямолинейном участке трубопровода происходят на углах поворота трубопровода, П-образных и Z-образных компенсаторах или сильфонных компенсаторах. Кроме того, необходимо обеспечивать свободу перемещений в местах ответвлений, а также выполнять расчет величины перемещений при выборе стартовых компенсаторов.

Часто при проектировании теплотрассы удобно пользоваться понятием максимально допустимой длины L_{max} прямолинейного участка трубопровода, заключенного между неподвижной опорой и фасонным компенсатором. Величина L_{max} вычисляется из условия, что осевое напряжение в точке трубы на неподвижной или мнимой опоре меньше или равно:

$$\sigma_{\text{доп}} \leq 150 [\text{Н/мм}^2], (12)$$

Вышеприведенное значение $\sigma_{\text{доп}}$ гарантирует, что на участке трубопровода между неподвижной или мнимой опорой и компенсатором осевые напряжения $\sigma_x \leq 150$ [Н/мм²], что соответствует наилучшим условиям работы трубопровода. Для вычисления L_{max} используется формула, которая может быть легко получена из формулы (3):

$$L_{\text{max}} = \frac{150 \cdot S_{\text{ст}}}{F_{\text{тр}}}, (13)$$

После вычисления величины L_{max} она сравнивается с фактической длиной трубопровода между опорой и компенсатором, и если фактическая длина оказывается меньше величины L_{max} , то для этого участка расчетные напряжения не превышают допустимых 150 [Н/мм²]. Дополнительно необходимо проверить, не превышает ли усилие на неподвижную опору на расчетном участке максимально допустимое значение для элемента неподвижной опоры по ГОСТ 30732-2006.

Положение мнимой опоры на прямолинейном участке трубопровода постоянного диаметра определяется формулой (11).

Напряжения. Температурные напряжения в трубопроводе необходимо вычислять на основе критериального уравнения (1), в котором величина σ_s рассчитывается по уравнениям (2), (3), (4), а сила $F_{тр}$ представляет собой силу трения между полиэтиленовой оболочкой трубопровода и грунтом, вычисляемую по формуле (10).

Перемещения. Величина перемещения точки на углу поворота определяется температурным расширением прямолинейного участка трубопровода, расположенного между неподвижной или мнимой опорой и этим углом поворота (точка 3 рис. 64). Формулы (14), (15), для вычисления перемещений, приведенные далее, получены с учетом допущения 7 раздела 6.4.

Перемещения неподвижной опоры (точка 1) принимаются равными нулю. При изменении температуры трубопровода на величину ΔT смещение точки 3 составит:

$$\Delta L_3 = \alpha \cdot \Delta T \cdot L - \frac{f_{тр} \cdot L^2}{2 \cdot E \cdot S_{ст}}, \quad (14)$$

где $f_{тр}$ – известная нам сила трения на единицу длины трубопровода между полиэтиленовой оболочкой и грунтом, вычисляемая по формуле (9), L – расстояние между опорой и компенсатором, E – модуль упругости стали, $S_{ст}$ – площадь поперечного сечения стальной трубы.

Если между опорой и компенсатором находится тройниковое ответвление, как показано на рис. 84, то его перемещение (т.е. перемещение точки 2) можно вычислить с помощью следующей формулы:

$$\Delta L_2 = \alpha \cdot \Delta T \cdot L_2 - \frac{f \cdot (2L_1 + L_2) \cdot L_2}{2 \cdot E \cdot S_{ст}}, \quad (15)$$

где L_1 – расстояние от свободного конца трубы до тройника, а L_2 – расстояние от опоры до тройника.

Если естественные компенсаторы теплотрассы и известные методы строительства теплотрасс не обеспечивают уровень напряжений в пределах допустимых, то необходимо устанавливать дополнительные компенсаторы. Уровень механических напряжений в трубопроводах теплосети определяется количеством и расположением неподвижных и мнимых опор, а также количеством и расположением естественных компенсаторов. Вычисление величин перемещений точек трубопроводов в местах установки компенсаторов производится по формулам (14), (15).

Для снижения напряжений используются дополнительные компенсаторы трех типов:

1. Обычные компенсаторы в ППУ изоляции, составленные из отводов, т.е. Г-образные, П-образные и Z-образные компенсаторы.
2. Одно- или двухсильфонные компенсирующие устройства.
3. Стартовые компенсаторы.

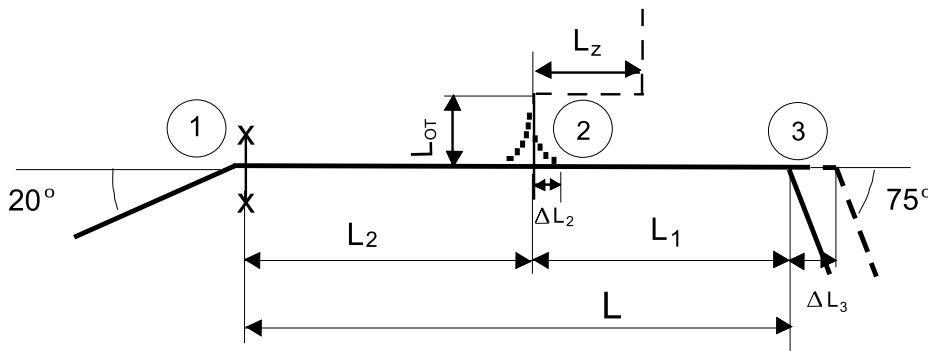


Рисунок 84. Перемещения на расчетном участке трубопровода

6.4. Расчет компенсирующего плеча Г-, Z-, П-образных компенсаторов

Если известна расчетная величина перемещения труб и, соответственно, плеч Г-образных, Z-образных и П-образных компенсаторов при изменении температуры теплоносителя, то расчет величины перемещения наиболее удаленной от неподвижной опоры точки может быть произведен при помощи номограмм, приведенных на рис. 85–87.

Если фактическая длина плеч компенсатора равна или превышает величину, определяемую номограммой, то компенсатор способен выполнять свою функцию. Величину компенсирующих плеч для Г-, П- и Z-образных компенсаторов вычисляют по следующему алгоритму. Для начала по приведенным выше формулам вычисляют

расчетное перемещение для Г-образного компенсатора или суммарное перемещение от прилегающих участков для П- и Z-образных компенсаторов. Далее на нижней шкале номограммы находят точку, соответствующую полученному перемещению, и мысленно ведут от нее перпендикуляр вверх до пересечения с линией, соответствующей диаметру трубы на компенсаторе. Затем от найденной точки пересечения проводят перпендикуляр на левую шкалу номограммы и определяют величину компенсирующего плеча L_r , L_n , L_z . Вылет компенсаторов для бесканальной прокладки рассчитывается с условием их монтажа без предварительной растяжки.

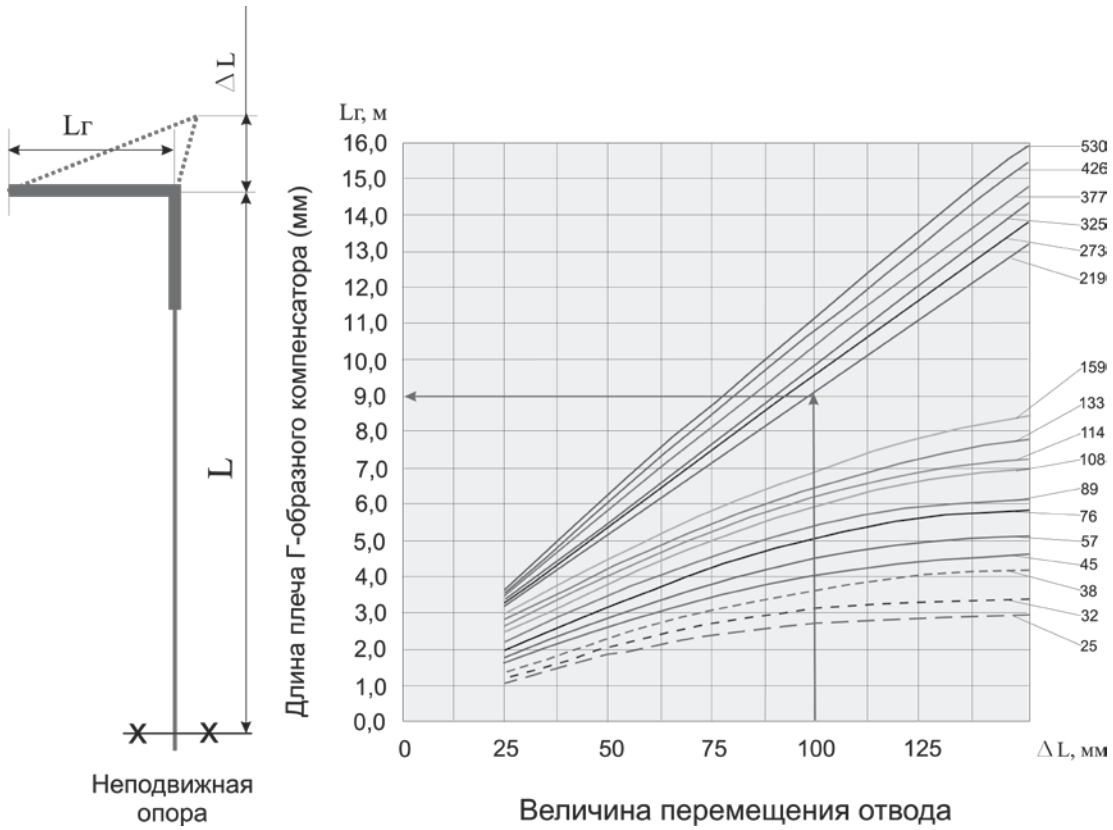


Рисунок 85. Расчет компенсирующего плеча Г-образного компенсатора

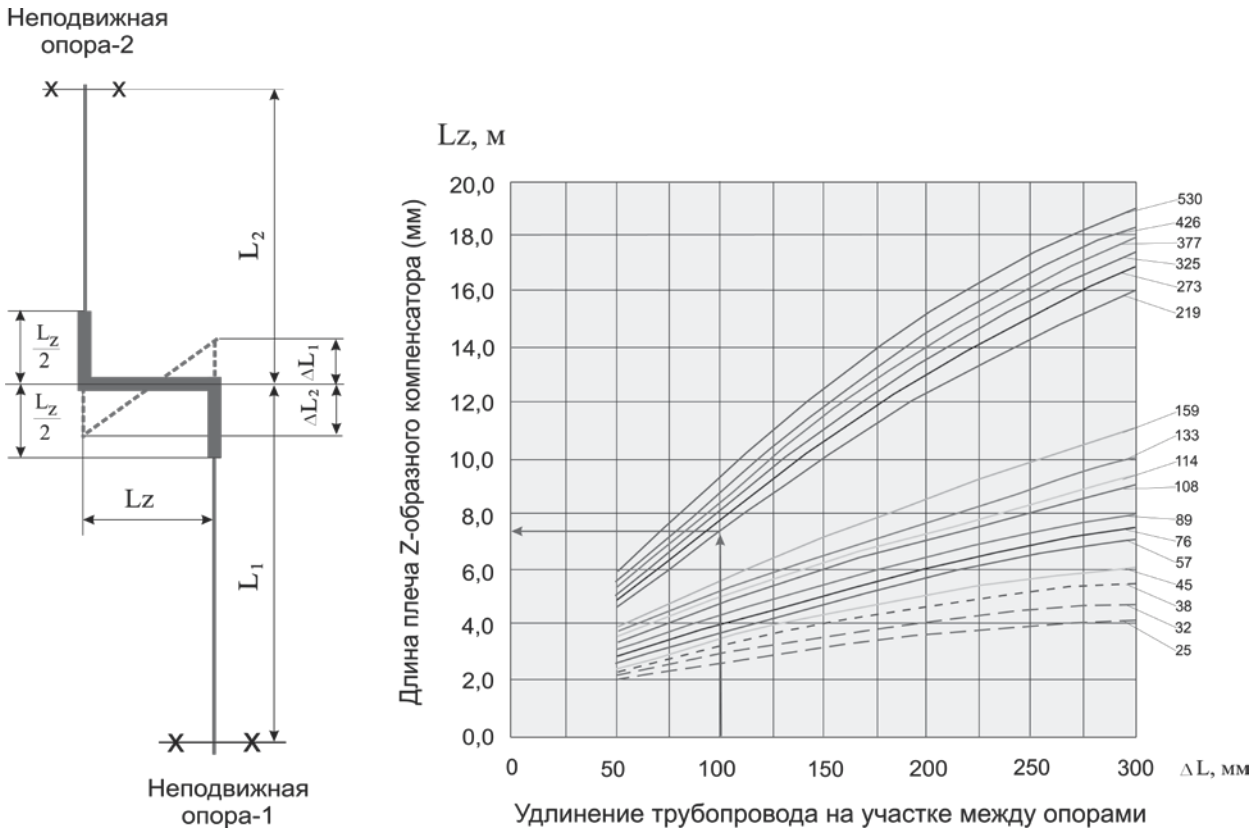


Рисунок 86. Расчет компенсирующего плеча Z-образного компенсатора

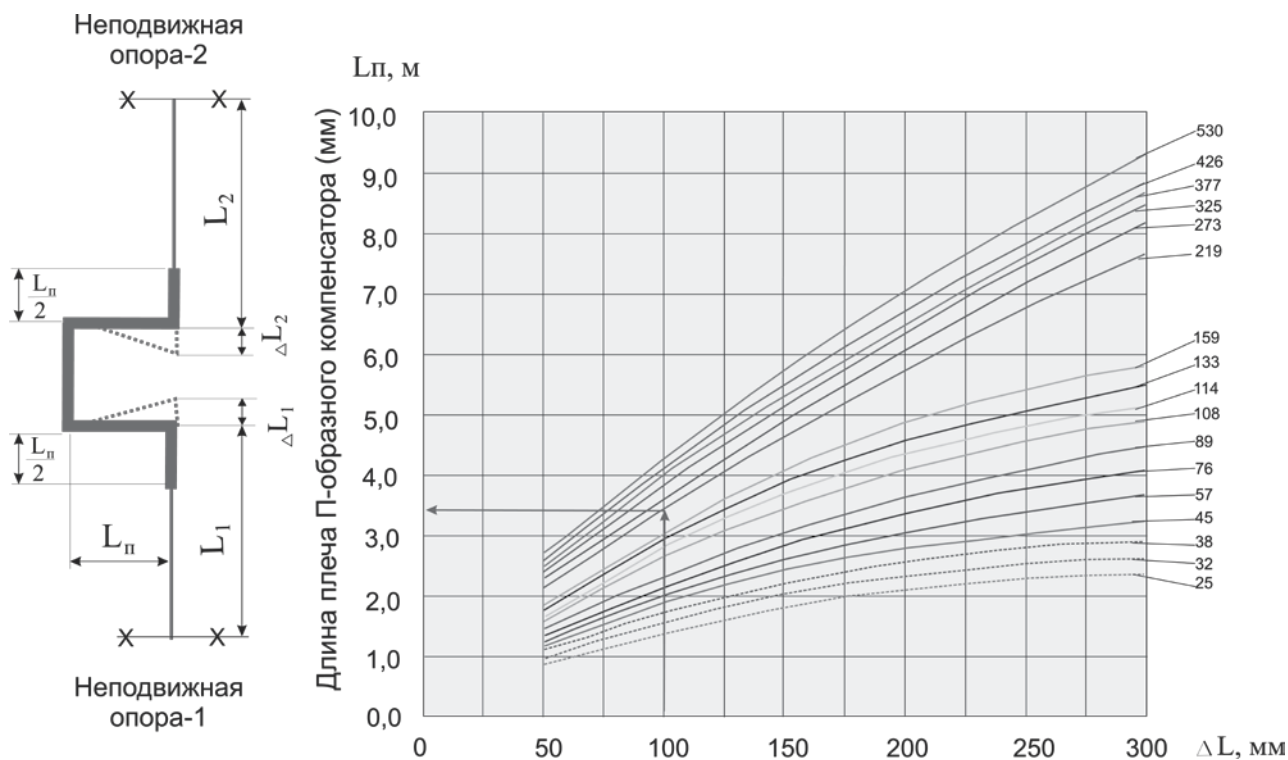


Рисунок 87. Расчет компенсирующего плеча П-образного компенсатора

6.5. Теплогидроизолированные сильфонные компенсационные устройства

Теплогидроизолированные сильфонные компенсационные устройства для компенсации осевых температурных деформаций теплопроводов в заводской теплоизоляции из пенополиуретана в полиэтиленовой оболочке как без системы оперативного дистанционного контроля (СОДК), так и с СОДК.

При применении СКУ типа СКУ. ППУ/ПЭ.1 не требуется установки направляющих опор на расстоянии 2÷4 DN от СКУ. Их можно заменить на пару скользящих опор, исключающих прогиб теплопровода в месте установки СКУ от собственного веса.

Сильфонные компенсационные устройства СКУ. ППУ/ПЭ.1-ОДК, 2 СКУ. ППУ/ПЭ.1-ОДК предназначены для применения в регионах с расчетной температурой наружного воздуха для проектирования отопления (средняя температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки) не ниже минус 30°C. Для регионов с температурой ниже минус 30°C применяются СКУ. ППУ/ПЭ.1.С-ОДК и 2 СКУ. ППУ/ПЭ.1.С-ОДК. При бесканальной прокладке теплопроводов СКУ должны размещаться на прямолинейном участке теплопро-

вода между двумя его промежуточными неподвижными опорами, односильфонные СКУ – как правило, а двухсильфонные СКУ – строго посередине пролета между двумя неподвижными опорами. При этом во время растяжения СКУ необходимо обеспечить одинаковые перемещения патрубков СКУ относительно кожуха.

Для расчета длины участка, обслуживаемого одним сильфонным компенсатором, используется неравенство $\Delta L_{\text{сильф}} > \Delta L$. Выбор сильфонных компенсационных устройств, производится по данным таблиц в разделе III (см. п. 3.23).

Предельная длина компенсируемого участка теплопровода может быть увеличена разными способами, например, путем:

- применения стальных труб с повышенной толщиной стенки или из высококачественной стали;
- уменьшения коэффициента трения между защитной оболочкой и грунтом обертыванием теплопровода полиэтиленовой пленкой;
- уменьшения глубины прокладки теплопровода;
- повышения качества сварных швов и др.

6.6. Расчет и выбор стартовых компенсаторов

Стартовый компенсатор выполняет свою функцию только один раз, при первом разогреве трубопровода, после чего производится его фиксация сварным швом, и компенсатор превращается в равнопрочный участок трубопровода.

При расчетах зоны компенсации сильфонных компенсаторов согласно СП 41-105-2002 и РД 10-400-01 учитывается только осевая компонента напряжения $[\sigma_x]$ с повышающим коэффициентом 1,25. Прямолинейная прокладка с применением стартовых компенсаторов возможна только при соблюдении условия

$$\sigma_{\text{доп}} < 2 [\sigma_x], \quad (16)$$

Если это условие не выполняется, нужно переходить на другие схемы компенсации температурных расширений (например, использовать П-образные компенсаторы). Однако есть способы, которые позволяют в это ограничение «вписаться».

Если принять согласно СП 41-105-2002

$$[\sigma_x] \approx 1,25 [\sigma], \quad (17)$$

получаем

$$\alpha (T_{\text{раб}} - T_{\text{монт}}) E_{\text{раб}} < 2,5 [\sigma_x], \quad (18)$$

следовательно

$$(T_{\text{раб}} - T_{\text{монт}}) < \frac{2,5 [\sigma_x]}{\alpha \cdot E_{\text{раб}}}, \quad (19)$$

Правая часть здесь зависит только от свойств материала. Например, для стали 20 при рабочей температуре +150°C получаем значение максимально допустимого температурного перепада при применении сильфонных компенсаторов

$$(T_{\text{раб}} - T_{\text{монт}}) < \frac{2,5 \cdot 146}{12 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5} = 152^\circ\text{C}, \quad (20)$$

Например, если рабочая температура трубопровода +150°C, и монтажные работы выполняются в зимнее время, при температуре воздуха минус 20°C, имеем $(T_{\text{раб}} - T_{\text{монт}}) = 150 - (-20) = 170^\circ\text{C} > 152^\circ\text{C}$, то применение стартовых компенсаторов невозможно.

Но если расчетную рабочую температуру принять на уровне +130°C, а температуру монтажа 0°C, то $(T_{\text{раб}} - T_{\text{монт}}) = 130^\circ\text{C} < 152^\circ\text{C}$ – применение компенсаторов возможно.

Для практических целей рекомендуется определять зону компенсации L_{max} «обслуживаемого» одним стартовым компенсатором, установленным строго посередине расчетного участка с 20% запасом, используя формулу:

$$L_{\text{max}} = \frac{0,8 \cdot S_{\text{ст}}}{f_{\text{тр}}} \{2,5 \cdot [\sigma] - \alpha \cdot E (T_{\text{раб}} - T_{\text{монт}})\}, \quad (21)$$

где $f_{\text{тр}}$ – сила трения о грунт, приходящаяся на единицу длины трубопровода, а $S_{\text{ст}}$ – площадь поперечного сечения стали в трубопроводе.

Разность в скобках весьма «чувствительна» к температурному перепаду. При $(T_{\text{раб}} - T_{\text{монт}}) = 130^\circ\text{C}$ будем иметь

$$\begin{aligned} L_{\text{max}} &= \frac{0,8 \cdot S_{\text{ст}}}{f_{\text{тр}}} [(2,5 \cdot 147,6) - (12 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 130)] = \\ &= \frac{0,8 \cdot S_{\text{ст}}}{f_{\text{тр}}} \cdot 57 \end{aligned}$$

Например, для теплопровода 426 x 7 при глубине заложения оси трубы $Z=1$ м зона компенсации составит всего:

$$L_{\text{max}} = \frac{0,8 \cdot S_{\text{ст}}}{f_{\text{тр}}} \cdot 57 = \frac{0,8 \cdot 92}{1,3} \cdot 57 = 3230 \text{ см} = 32,3 \text{ м}$$

Если же температуру монтажа принять не 0°C, а +20°C (монтаж в летнее время), то $(T_{\text{раб}} - T_{\text{монт}}) = 110^\circ\text{C}$ и зона компенсации увеличится до

$$\begin{aligned} L_{\text{max}} &= \frac{0,8 \cdot S_{\text{ст}}}{f_{\text{тр}}} [(2,5 \cdot 147,6) - (12 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 110)] = \\ &= \frac{0,8 \cdot 92}{1,3} \cdot 105 = 5950 \text{ см} = 59,5 \text{ м} \end{aligned}$$

Таким образом, расстояние L_{max} увеличится в 1,84 раза, соответственно, сократится количество стартовых компенсаторов.

Одним из эффективных способов дополнительного сокращения количества стартовых компенсаторов является использование материала трубопровода с более высоким значением $\sigma_{\text{доп}}$. Например, если вместо стали 20 применить трубы из стали 17 ГС1 У, то при температуре монтажа +20°C и рабочей температуре трубопровода +150°C получим $(T_{\text{раб}} - T_{\text{монт}}) = 130^\circ\text{C}$, тогда

$$\begin{aligned} L_{\text{max}} &= \frac{0,8 \cdot S_{\text{ст}}}{f_{\text{тр}}} [(2,5 \cdot 202,6) - (12 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 110)] = \\ &= \frac{0,8 \cdot 92}{1,3} \cdot 194,5 = 11011 \text{ см} = 110,1 \text{ м} \end{aligned}$$

Таким образом, проведение монтажных работ в летнее время и повышение допускаемых напряжений в 1,4 раза увеличивает максимальное расстояние между стартовыми компенсаторами в 3,4 раза.

Заметим, что при установке стартовых компенсаторов допускают нарушение условия $\sigma_r > \sigma_3$ при первом разогреве трубопровода и нескольких последующих циклах разогрев-охлаждение, где σ_r – предел текучести стали. В процессе этих циклов осевая компонента напряжения выравнивается по длине трубопровода и в пределе стремится к значению $\sigma_x = \pm 150 \text{ Н/мм}^2$. Вре-

мя полного выравнивания напряжений в изолированном трубопроводе зависит от значения коэффициента ползучести грунта в зоне его контакта с защитной полиэтиленовой оболочкой на наиболее удаленных от компенсатора участках, при этом оно уменьшается, при прочих равных условиях, с уменьшением глубины заложения трубопровода.

Для подбора компенсатора необходимо вычислить величину удлинения трубопровода, которое должен поглотить сильфонный стартовый компенсатор. Стартовый компенсатор (типа СК) должен поглотить половину удлинения при подогреве трубы до половины диапазона от температуры монтажа до рабочей температуры. Для стартовых компенсаторов величина удлинения трубопровода вычисляется по формуле (5), в которую надо подставить длину L_{\max} трубопровода между неподвижными опорами и величину $\Delta T_{\text{расч}} = 60^\circ\text{C}$, т.е. $\Delta L_{\text{СК}} = \alpha \cdot L_{\max} \cdot (T_{\text{раб}} - T_{\text{монт}}) / 2$, где $T_{\text{раб}}$ – расчетная температура трубопровода, как правило, $+130 \dots 150^\circ\text{C}$;

$T_{\text{монт}}$ – температура наружного воздуха при монтаже, предусмотренная проектом, как правило, $+10 \dots 20^\circ\text{C}$.

Перед началом монтажных работ необходимо решить вопрос о том, какое фактическое количество стартовых компенсаторов требуется для поглощения вычисленной величины $\Delta L_{\text{СК}}$ с учетом поправок на температуру, при которой осуществляется монтаж, максимально достижимую температуру разогрева трубопровода в условиях монтажа $T_{\text{строй}}$, а также как расположить эти компенсаторы на трубопроводе.

Подбор числа стартовых компенсаторов производится в следующей последовательности:

1. Сначала по формуле $\Delta L_{\text{СК}} = \alpha \cdot L_{\max} \cdot (T_{\text{расч}} - T_{\text{монт}}) / 2$ вычисляем величину удлинения трубопровода, которую должны поглотить стартовые компенсаторы, и проверяем условие $\Delta L_{\text{сильф}} > \Delta L_{\text{СК}}$.
2. Если компенсирующая способность одного стартового компенсатора достаточна для поглощения удлинения $\Delta L_{\text{СК}}$ трубопровода, т.е. $\Delta L_{\text{сильф}} > \Delta L_{\text{СК}}$, то принимаем для расчета один стартовый компенсатор и располагаем его в средней точке трубопровода

между опорами. Далее для каждого из двух участков трубопровода, разделенного стартовым компенсатором, вычисляем силу трения $f_{\text{тр}}$, действующую на один метр длины трубопровода по формуле (9) и величину нагрева трубопровода ΔT , которая требуется для достижения перемещения точки трубопровода в месте установки компенсатора на величину $\Delta L / 2$. Для вычисления ΔT необходимо использовать формулу (14), в которую вместо ΔL_3 следует подставить половину вычисленного в п. 1 значения $\Delta L_{\text{СК}}$, т.е. $\Delta L_{\text{СК}} / 2$ и решить уравнение относительно ΔT .

3. Сравниваем полученное значение ΔT с реальными возможностями по разогреву трубопровода при монтаже, т.е. проверяем условие $\Delta T < \Delta T_{\text{строй}}$. Если это условие не выполнено, т.е. реальная возможность разогреть трубопровод до такой температуры отсутствует, необходимо увеличить число стартовых компенсаторов. Если техническая оснащенность строительной организации позволяет выполнить такой разогрев или на стройплощадке имеется горячая вода соответствующей температуры, то далее следует проверить, превышает или нет расчетное напряжение σ_x величину $\sigma_{x(\text{монт})}$, т.е. должно быть $\sigma_x < \sigma_{x(\text{монт})}$. Для вычисления σ_x используется формула (3). Если это условие не выполнено, необходимо увеличить число стартовых компенсаторов, если $\sigma_x < \sigma_{x(\text{монт})}$, то один стартовый компенсатор достаточен для данного участка.
 4. Если хотя бы одно из условий $\Delta L_{\text{сильф}} > \Delta L_{\text{СК}}$, $\Delta T < \Delta T_{\text{строй}}$, $\sigma_x < \sigma_{x(\text{монт})}$ не выполнено, принимаем два стартовых компенсатора. Если оба стартовых компенсатора имеют одинаковую компенсирующую способность (ход), то, учитывая симметрию участка, все вычисления можно выполнить только для одного компенсатора. При установке 2-х аналогичных стартовых компенсаторов они устанавливаются на равных расстояниях от неподвижных опор, которые должны быть не более половины ΔL_{\max} .
- Выбор стартовых сильфонных компенсационных устройств производится по данным таблиц в разделе III (см. п. 3.23).

6.7. Расчет напряжений в ответвлениях

В точках ответвлений основная труба взаимодействует с трубой ответвления (см. рис. 84). Для защиты основной трубы от воздействия трубы ответвления применяют или неподвижную опору, размещаемую на трубе ответвления на расстоянии не более 6 м от оси основной трубы, или Z-образный компенсатор на расстоянии не более 10 м от оси основной трубы. При этом длины компенсирующих плеч L_z - или L_n -компенсаторов могут быть определены по номограммам (рис. 85–87) исходя из расчетного значения теплового удлинения отвода. На основной трубе может быть установлена неподвиж-

ная опора (см. рис. 84). В этом случае необходимо определить перемещение точки 2 тройника по формуле (15) и выбрать по номограммам (рис. 85–87) необходимую длину плеча отвода $L_{\text{от}}$.

Если расстояние от неподвижной опоры в точке 1 до тройника в точке 2 больше 12 м (см. рис. 84) или диаметр ответвления и магистрали близки по значению, то необходимо выполнить проверочный расчет на прочность в одной из специализированных компьютерных программ или обратиться за консультацией к специалистам ООО «Чебоксарский трубный завод».

6.8. Размеры неподвижных опор

Железобетонный щит неподвижной опоры трубопровода состоит из элементов трубопровода, содержащих металлическую упорную плиту, силового арматурного каркаса и бетона. Эти элементы собираются вместе на стройплощадке перед заливкой бетона в опалубку, как показано на рис. 88.

При выполнении монтажных работ для защиты трубопровода от блуждающих потоков не допускается наличие электрического контакта между стальной упорной плитой неподвижной опоры и каркасом силовой арматуры. Перед заливкой бетона в опалубку рекомендуется нанести на фланец неподвижной опоры и стальное защитное кольцо не менее трех слоев неэлектропроводящей мастики.

Размеры опорной поверхности щита определяются усилием, которое передается от трубопроводов теплотрассы на щит, количеством труб, проходящих через щит, и прочностными характеристиками грунта. Максимальное усилие, передаваемое на железобетонный щит одной трубой, определяется диаметром полиэтиленовой трубы-оболочки, длиной прямолинейного участка трубопровода и глубиной траншеи и рассчитывается как сила трения $F_{тр}$ по формуле (10).

Общее усилие, воспринимаемое железобетонным щитом, является суммой сил $\Sigma F_{тр}$ от каждого трубопровода. За исключением особых случаев (болотистые почвы,

скальный грунт и т.п.) принимают, что сопротивление грунта составляет 150 кН/м^2 (15 тс/м^2). Тогда площадь опорной поверхности щита $S_{щ} = A \cdot C + 2 \cdot (A+C) \cdot B$ вычисляют из условия равновесия:

$$S_{щ} = K_{гр} \cdot \Sigma F_{тр} / 150, \quad (22)$$

где $K_{гр}$ – поправочный коэффициент на прочность грунта, $K_{гр} = 1,15$.

Размеры щита А и С принимают в зависимости от числа труб, проходящих через щит, $F_{тр}$ вычисляют по формуле (10). Размер В железобетонного щита зависит от диаметра и количества прутков силовой арматуры, а также от прочностных характеристик применяемой марки бетона. Таким образом, размеры А, В и С опорного щита зависят от целого ряда параметров и должны рассчитываться индивидуально для каждого конкретного случая. Примерные характеристики железобетонных щитов неподвижных опор для 2-х трубных систем бесканальной прокладки, при глубине заложения трубопроводов 1 м от верха изоляции, приведены в таблице 45.

Следует учитывать, что при увеличении глубины прокладки изолированных трубопроводов расчетные габаритные размеры щитов неподвижных опор увеличиваются. Прочность бетона должна составлять на менее 410 МПа.

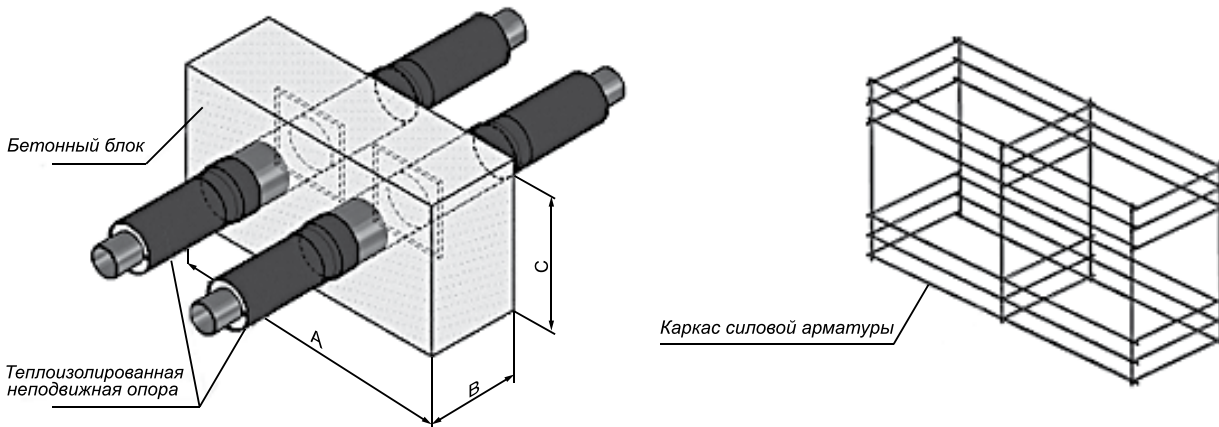


Рисунок 88. Щит неподвижной опоры

Таблица 45 – Примерные характеристики ж/б щитов неподвижных опор

Диаметры изолированных стальных труб, d, мм	Номинальная нагрузка на неподвижную опору, т	Размеры ж/б опоры, м			Характеристика арматуры	
		A	B	C	Количество горизонтальных стержней, шт.	Диаметр, мм
25–45	4–5	1,0	1,0	0,5	2	8
57–76	7,5–9,5	1,1	1,0	0,5	2	8
89–114	13,5–22	1,8	1,0	0,7	4	8
133	23,5	2,3	1,0	0,8	4	8
159	36	2,3	1,0	0,8	4	10
219	50	2,8	1,0	1,2	6	14
273	75	3,0	1,0	1,5	6	16
325	90	3,8	1,0	1,5	6	20
377	100	4,0	1,0	1,8	6	20
426	120	4,5	1,0	2,0	6	20

Примечание: По согласованию с потребителем могут быть изготовлены неподвижные опоры для наружной или подземной прокладки с воздушным зазором между упорной плитой и рабочей трубой. Расчеты показы-

вают, что при этом локальные тепловые потери снижаются более чем в 10 раз.

6.9. Выбор толщины стенки стальных труб

Высокое качество изготовления изолированных труб при соблюдении правил эксплуатации обеспечивает отсутствие наружной коррозии стальных труб. Вместе с тем игнорировать наличие внутренней коррозии в тепловых сетях нельзя. В типовой инструкции ОРГРЭС РД 153-34.20.522-99 по периодическому техническому освидетельствованию тепловых сетей в процессе эксплуатации приведена следующая классификация внутренней коррозии, которая может иметь место в действительности (см. таблицу 46).

Таблица 46 – Оценка интенсивности внутренней коррозии

Группа интенсивности	Скорость (проницаемость) коррозии v , мм/год	Интенсивность коррозионного процесса
1	$v \leq 0,04$	слабая
2	$0,04 < v \leq 0,05$	средняя
3	$0,05 < v \leq 0,20$	сильная
4	$v > 0,20$	аварийная

При сроке службы трубопровода 30 лет соответствующие прибавки на коррозию (за исключением случая аварийной интенсивности) могут составлять соответственно: 1,2 мм, 1,5 мм и 6,0 мм. Поэтому, если отсутствуют гарантии 100% соблюдения качества водоподготовки, прибавку к расчетной толщине нужно увеличивать. Согласно СП41-105-2002 выбор запаса по толщине стенки труб на коррозию производится проектной организацией по требованию заказчика.

6.10. Глубина заложения

Изоляционная конструкция и стальная труба работают как единое целое, т.е. в процессе изгиба и осевого растяжения-сжатия отслоения не допускаются. При бесканальной прокладке трубопровода давление грунта стремится сплющить поперечное сечение трубы, лежащей на сплошном упругом основании. Из-за трения по грунту возникают значительные усилия в продольном направлении. Конструкция «стальная труба – пенополиуретановый слой изоляции – наружная защитная оболочка» находится в сложном напряженном состоянии, компонентами которого являются касательные и нормальные напряжения. А поскольку прочность ППУ намного ниже прочности материала наружного кожуха, а тем более материала стальной трубы, именно разрушение слоя ППУ является решающим фактором при определении допустимой глубины заложения трубопровода.

Минимальную глубину заложения труб в земле, считая от низа дорожного покрытия до верха полиэтиленовой оболочки трубы, следует принимать не менее 0,5 м вне пределов проезжей части и 0,6 м – в пределах проезжей части, считая до верха изоляции.

Допускаемая глубина заложения изолированных труб должна составлять ориентировочно для диаметров (стальных труб и полиэтиленовых оболочек) до 133 x 225 мм – 3,1 м, от 159 x 250 мм до 530 x 710 мм – 3,6 м (без учета влияния транспортных средств).

Примечание.

При необходимости контрольных расчетов глубин заложения изолированных теплопроводов расчетное сопротивление сжатию пенополиуретана следует принимать 0,15 МПа, полиэтиленовой оболочки – 1,6 МПа.

Подземная прокладка теплопроводов на глубине больше допустимой производится в каналах (тоннелях).

6.11. Применение программной системы «СТАРТ»

В наибольшей степени учесть специфику проведения трубопроводов позволяет компьютерное моделирование при помощи программной системы «СТАРТ» (далее ПС «СТАРТ»). В отличие от расчетно-аналитических методов, компьютерное моделирование учитывает влияние многих дополнительных факторов, таких как гибкость тройников и отводов, пластические деформации грунта и конструкций, взаимное влияние смежных участков, позволяет производить расчеты для режимов постоянно действующих, кратковременных и циклических нагрузок. Специалисты ООО «Чебокс-

сарский трубный завод» выполняют по заявкам потребителей проектные, проектно-проверочные, нестандартные и стандартные расчеты с использованием ПС «СТАРТ». Расчеты могут быть выполнены в соответствии с методиками:

- СТО Ростехэкспертиза 10.001-2009 «Тепловые сети. Нормы и методы расчета на прочность»;
- СП 41-105-2002 «Проектирование и строительство тепловых сетей бесканальной прокладки из стальных труб с промышленной теплоизоляцией из пенополиуретана в полиэтиленовой оболочке», М., 2003;

- СА 03-005-07 «Технологические трубопроводы нефтеперерабатывающей, нефтехимической и химической промышленности. Требования к устройству и эксплуатации», Ассоциация «Ростехэкспертиза», 2007;
 - СНиП 2.05.06-85 «Магистральные трубопроводы»;
 - РД 10-249-98 п. 5.1 «Бараны, коллекторы и трубы поверхностей нагрева»;
 - РД 10-249-95 п. 5.2 «Трубопроводы пара и горячей воды»;
 - РД 10-400-01* «Нормы расчета на прочность трубопроводов тепловых сетей».
- * – потерял актуальность в связи с выходом СТО 10.001.2009.

6.12. Выбор метода компенсации пусковых (стартовых) напряжений

Содержание проекта в значительной степени зависит от выбора метода компенсации пусковых напряжений трубопровода. Рассмотрим их на следующих примерах.

1 метод.

Прокладка труб в холодном состоянии без дополнительных компенсаторов.

Этот метод прокладки дает самый простой и дешевый проект теплотрассы. В данном случае температурные расширения смонтированных трубопроводов поглощаются только естественными компенсаторами, не устанавливают никаких дополнительных компенсирующих элементов и не производят предварительного (перед обратной засыпкой) разогрева трубопроводов. Время, в течение которого траншея остается открытой, минимально, так как в этом случае имеется возможность прокладки теплотрассы отдельными участками с выполнением обратной засыпки траншеи сразу после испытаний трубопроводов и подписания акта скрытых работ. Данный метод прокладки используется, как правило, когда рабочий перепад температур трубопровода не превышает +70°C или статические и циклические нагрузки во всех режимах работы трубопровода не превышают допустимых значений по результатам проверочных расчетов в ПС «СТАРТ».

Следует также учитывать, что данный метод прокладки требует строгого выполнения расчетных условий монтажа (по температуре наружного воздуха и грунта в момент заварки последних стыков). Данный метод прокладки используется, как правило, летом, при температуре воздуха и грунта в момент завершения монтажных (строительных) работ в диапазоне +10...20°C.

2 метод.

Прокладка труб с предварительным нагревом без дополнительных компенсаторов.

Применение метода «самокомпенсации» рекомендуется в случаях, когда трасса трубопроводов представляет собой ломаную линию, с углами поворота от 90 до 135 градусов и относительно короткими прямыми участками, длина которых не превышает предельных расчетных значений L_{\max} , а длина короткого плеча – не менее расчетного значения для компенсирующего плеча и не более 12 м. Во всех

Во многих случаях экспертиза проектов с использованием компьютерного графического моделирования позволяет выявить «проблемные» участки и элементы трубопровода, быстро осуществить необходимые корректировки схем прокладки, обеспечить существенную экономию капитальных затрат за счет упрощения проектных решений.

остальных случаях требуется компьютерное моделирование.

При данном методе прокладки трубопровод состоит из тех же элементов, что и в предыдущем случае. Однако перед обратной засыпкой траншеи производится разогрев труб до $T = (T_{\text{раб}} + T_{\text{монт}}) / 2$, где $T_{\text{раб}}$ – максимальная рабочая температура теплоносителя, указанная в проекте теплотрассы.

Таким образом, траншея должна оставаться открытой на протяжении периодов монтажа, испытаний и предварительного прогрева трубопроводов.

При температуре, равной половине максимальной рабочей температуры, осевые напряжения в трубопроводе отсутствуют в результате свободного удлинения трубопровода, а после засыпки трубопровода и разогрева трубопровода до рабочей температуры термические удлинения не возникают. Изменяется лишь напряжение в стальной трубе.

В этом случае после засыпки траншеи и повышения температуры до рабочей в материале стальных труб возникают сжимающие напряжения, а при охлаждении растягивающие напряжения, абсолютная величина которых может лишь незначительно превышать значение 150 [Н/мм²].

Стоимость материалов, необходимых для строительства теплотрассы, совпадает со стоимостью материалов по методу 1. Для пускового разогрева трубопроводов требуется источник тепла, в качестве которого можно использовать сетевую горячую воду. При ее отсутствии строительная организация должна располагать специальной установкой для разогрева воды либо для генерации водяного пара.

3 метод.

Прокладка труб в холодном состоянии с использованием дополнительных компенсаторов.

Этот метод применяется в случаях, когда условия прокладки не позволяют применить предварительный нагрев трубопроводов. Здесь, кроме естественных компенсаторов теплотрассы, предполагается использование дополнительных теплогидроизолированных сильфонных компенсаторов типа СКУ либо обычных Г-образных, П-образных или Z-образных компенсаторов. Температур-

ные напряжения при этом способе прокладки могут быть сведены к минимуму. Температура трубопроводов при обратной засыпке соответствует температуре монтажа. Траншея может быть засыпана по мере готовности очередного участка. Стоимость материалов и комплектующих возрастает на величину стоимости компенсаторов, материалов для заделки дополнительных стыков, при соответствующем увеличении затрат на производство монтажных работ.

4 метод.

Прокладка труб с использованием стартовых компенсаторов.

Этот метод применяется в случаях, когда условия прокладки не позволяют применить фасонные компенсаторы. Этот метод прокладки позволяет производить окончательную засыпку траншеи с предварительно полунатянутыми участками при замыкании стартовых компенсаторов после прогрева труб до половины значения рабочей температуры. Соответственно, имеются участки траншеи, которые должны оставаться откры-

тыми (вблизи стартовых компенсаторов, фактических и мнимых неподвижных опор) в период предварительного нагрева (на протяжении не менее 24 часов), во избежание образования зон неподвижности изолированных труб.

Стоимость материалов увеличивается на величину стоимости стартовых компенсаторов с соответствующим увеличением стоимости элементов для заделки дополнительных стыков и стоимости работ по монтажу стартовых компенсаторов. В этом случае также требуется источник тепла, обеспечивающий разогрев трубопровода до рабочей температуры.

Учитывая важность вопроса, проект теплотрассы должен содержать явное указание на метод компенсации стартовых напряжений в трубопроводе либо должен содержать гарантирующие нормальную работу трубопроводов требования и указания, допускающие использование различных способов компенсации стартовых напряжений в трубопроводе на его отдельных расчетных участках.

6.13. Зоны компенсации

Изолированные трубы при бесканальной прокладке должны быть уложены на песчаную подушку толщиной не менее 150 мм по всей ширине траншеи. Тепловое удлинение изолированных трубопроводов приводят к боковым перемещениям колен фасонных компенсаторов и ответвлений, что приводит к местному сжатию окружающего отвод грунта. В случае если термические удлинения не превышают 100 мм, для компенсации удлинений можно использовать демпфирующие маты.

Длина демпфирующей подушки определяется количеством матов, устанавливаемых на $2/3$ длины компенсирующих плеч Г- или П-образных компенсаторов (далее – L_k – длина зоны компенсации) или ответвления. В Z-образных компенсаторах длина демпфирующих подушек равна вылету компенсатора. Схемы установки подушек для метода прокладки изолированных труб с предварительным их нагревом до половины рабочей температуры показаны на рис. 89 и 91.

Толщина демпфирующей подушки определяется удвоенной расчетной величиной перемещения плеча компенсатора. Необходимая длина и толщина

демпфирующей подушки достигается сложением соответствующего количества матов. Например, мат толщиной 40 мм может скомпенсировать 20 мм перемещения компенсатора. Если перемещение больше 20 мм, то необходимо производить устройство подушки с использованием двух слоев матов.

В местах установки подушек должна быть соответственно увеличена ширина траншеи, засыпку подушек в зонах компенсации рекомендуется производить просеянным на сите 1 x 1 мм песком или грунтом на высоту не менее 150 мм от верха оболочки и только после этого производить окончательную засыпку траншеи местным грунтом.

Перемещения величиной 10 мм и менее воспринимаются грунтом и не требуют применения демпфирующих матов.

При удлинениях более 100 мм для уменьшения напряжений, возникающих в компенсаторах из-за влияния повышенного сопротивления грунта, ширина траншеи, находящейся в зоне компенсации (L_k), находящейся между коленом и краем траншеи, должна иметь увеличенную

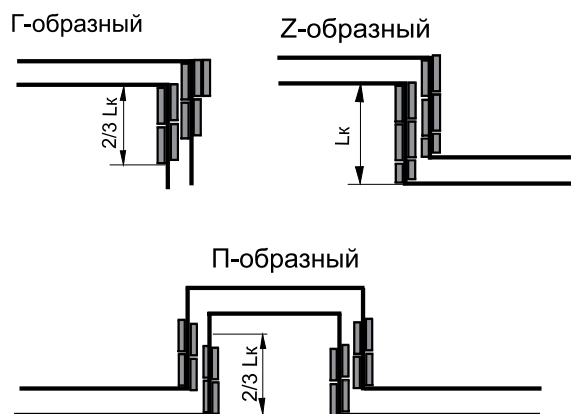


Рисунок 89. Схема установки демпфирующих подушек

Таблица 47 – Характеристики зон компенсации

Диаметр стальной трубы, мм	Диаметр трубы-оболочки, мм	Толщина слоя песка в зоне компенсации, мм		Диаметр трубы-оболочки, мм	Толщина слоя песка в зоне компенсации, мм	
		От трубы-оболочки до края траншеи D, мм	Между оболочками труб E, мм		От трубы-оболочки до края траншеи D, мм	Между трубами-оболочками труб E, мм
Тип 1				Тип 2		
025	90	100	150			
025	110	100	150			
025	125	150	150			
032	90	100	150			
032	110	100	150			
032	125	150	150			
038	110	100	150			
038	125	150	150			
045	125	150	150			
057	125	150	150	140	150	150
076	140	150	150	160	150	150
089	160	180	150	180	190	150
108	180	190	150	200	200	150
114	180	190	150	-	-	-
114	200	200	150	225	250	150
133	225	250	150	250	250	150
159	250	250	150	280	275	150
219	315	300	150	355	350	150
273	400	400	200	450	450	250
325	450	450	250	500	500	250
377	500	500	250	560	500	250
426	560	550	300	630	650	300
530	710	700	350	-		

ширину D (см. рис. 90 и табл. 47), при этом $L_k = L_r = L_z = L_n$. Значения L_r , L_z , L_n (вылеты компенсаторов) определяются по номограммам (см. рис. 85–87).

Прочность скрепленной трубной системы с ППУ изоляцией составляет 0,4–0,5 МПа, что больше, чем сила, возникающая при сжатии грунта в зоне компенсации. Величина сопротивления сжатию грунта составляет 0,1–0,2 МПа после засыпки зоны компенсации песком или

мягким грунтом (просеянными на сите 1 x 1 мм) на высоту не менее 150 мм от верха оболочек, последующей обратной засыпкой траншеи местным грунтом, при степени уплотнения слоев и пазух после трамбовки 94–98%.

Песок или грунт в зонах компенсации не должны содержать камней и других твердых включений или комков глины диаметром более 1 мм, допускается наличие не более 8% комков глины диаметром 8–20 мм.

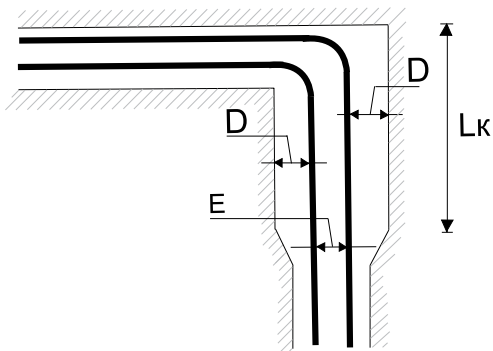


Рисунок 90. Размеры зоны компенсации



Рисунок 91. Схема крепления подушек

6.14. Проектирование СОДК

Разработка схем систем оперативного дистанционного контроля (СОДК), согласно СП 41-105-2002, является одним из необходимых этапов проектирования изолированных трубопроводов. На рис. 92 приведен состав проекта ОДК.

При проектировании системы следует предусматривать возможность объединения в одну цепь сети трубопроводов длиной до двух километров, с учетом длины соединительных кабелей. Минимальная длина не оговаривается.

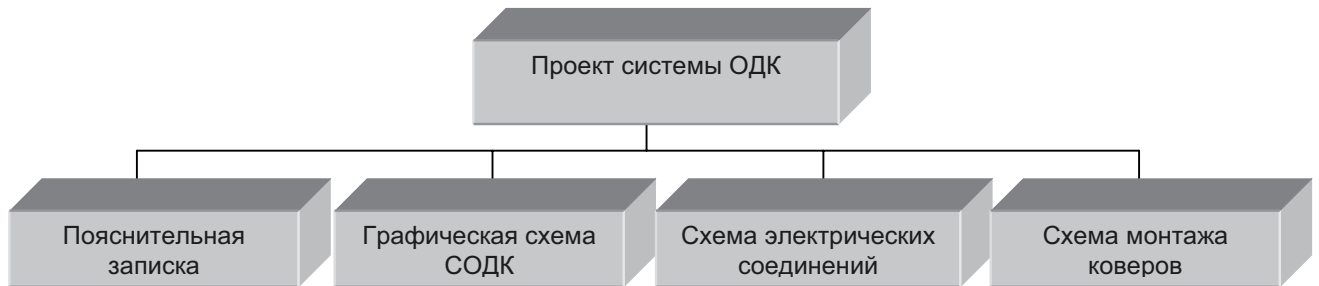


Рисунок 92. Состав проекта СОДК

Работа над схемой СОДК начинается после разработки монтажной схемы трубопровода, когда уже известны трассировки и диаметры теплотрассы, места начала и конца трассы, повороты, ответвления, места установки запорной арматуры, дренажных колодцев, воздушников, неподвижных опор, перехода диаметров. Они называются характерными точками, имеют свой номер и указываются на монтажной схеме и схеме контроля. От общей длины трубопровода зависит количество и расположение кабельных выводов. Места установки кабельных выводов должны быть указаны и на монтажной схеме. В таблицах проекта необходимо указать наименование и назначение прибора, например:
 Детектор двухканальный, многоуровневый;
 Импульсный рефлектометр;
 Контрольно-монтажный прибор;
 Терминал концевой, для двух трубопроводов;
 Терминал промежуточный, для двух трубопроводов и т. д.
 Все основные параметры оперативного дистанционного контроля состояния пенополиуретановой изоляции трубопровода закладываются на этапе проектирования. При проектировании необходимо руководствоваться СП 41-105-2002 «Проектирование и строительство тепловых сетей бесканальной прокладки из стальных труб с индустриальной тепловой изоляцией из пенополиуретана в полиэтиленовой оболочке», а также требованиями эксплуатационных служб.
 Все трубопроводы из стальных труб в ППУ изоляции (далее – «трубопроводы») обязательно оснащаются проводом системы ОДК, герметичными кабельными выводами. Проектируемая система ОДК должна иметь возможность присоединения к действующим системам, а также к системам, планируемыми на перспективу.

На схеме контроля каждый трубопровод изображается двумя линиями, по количеству проводов. Проводник, расположенный на подающей и обратной трубах справа по направлению от источника тепла к потребителю, принято называть основным, он изображается пунктиром (на цветных схемах – красного цвета). Второй сигнальный проводник принято называть транзитным, он изображается сплошной линией, на цветных схемах – зеленого цвета (рис. 93).

Направление теплоносителя – это направление движения воды от источника до потребителя по подающему трубопроводу. Для обратного трубопровода принимается идентичное направление, а не противоположное.

Для всех боковых ответвлений от магистральной трубы сигнальная цепь ответвлений должна быть включена в разрыв основного (правого) сигнального проводника магистрали. Если на трубах ответвлений от основной магистрали необходимо установить тройниковые ответвления, то эти трубы считаются магистральными, а сигнальная цепь новых ответвлений включается в разрыв основного сигнального проводника магистрали.

Соединение проводников в тройниковых ответвлениях.

Одним из наиболее важных моментов системы контроля является соединение проводников в тройниковых ответвлениях трубопровода. При соединении проводов в тройниках необходимо соблюдать все те же правила, которые обязывают основной (сигнальный) провод располагать справа по направлению движения теплоносителя, транзитный – слева, при этом в тройниковые ответвления должен заходить только основной провод, а транзитный должен проходить мимо. Для обеспече-

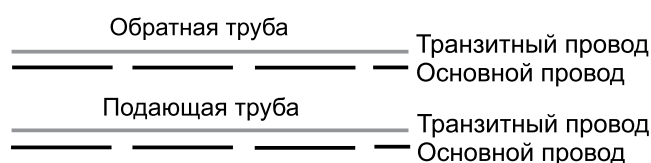


Рисунок 93. Обозначение на схемах проводников СОДК

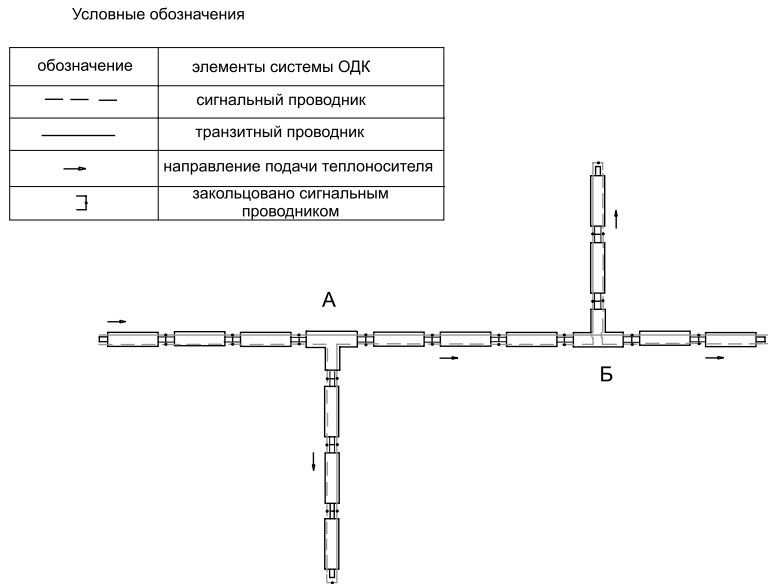


Рисунок 94. Соединение сигнальных проводников на схеме

ния правильного соединения проводников при повороте тройника вправо (см. узел А на рис. 94) и влево (см. узел Б на рис. 94) используется «универсальный» тройник (см. рис. 95).

Для контроля состояния изоляции в проект закладывается стационарный детектор, который устанавливается в ЦТП, ИТП. Детектор может быть двух- или четырехканальным. На шести- и более трубных системах рекомендуется использовать несколько детекторов для контроля каждой ветви трубопровода отдельным каналом. Предусматривается питание детекторов напряжением 220 В. Если нет возможности подключения стационарного детектора, периодический контроль может проводиться с использованием переносного детектора.

С двух сторон трубопроводов устанавливаются концевые элементы с кабельными выводами и концевыми терминалами для подключения приборов контроля. Герметичный вывод кабеля выполнен из подполиэтиленовой оболочки, он находится на расстоянии 1550 мм от торца металлической заглушки в грунте за пределами здания (камеры).

До ковера (до здания) сигнальные кабели прокладываются в гибких защитных (металлических или полиэтиленовых гофрированных) рукавах. Если трасса короче 100 м, достаточно установить элементы с кабельными выводами и концевые терминалы с одной стороны.

На длинных трубопроводах применяются элементы трубопровода с промежуточным кабельным выводом и промежуточные терминалы, не более чем через 300 м от соседних кабельных выводов.

На длинных трассах промежуточные кабельные выводы, а с ними соответствующие терминалы и ковера должны располагаться на расстоянии не более 300 м от соседних кабельных выводов. Рекомендуется выдерживать равные расстояния, если для этого нет препятствий (дорог, поворотов, ответвлений и т. п.). Это связано с точностью указания дефектных мест на участке между двумя точками контроля. На сходных по величине участках погрешность измерения будет примерно одинаковой.

Кабельный вывод не может быть размещен под проезжей частью дороги, в отводе, тройниковом ответвлении и т. п.

без крайней необходимости. Например, на трубопроводе длиной около 500 м промежуточную точку контроля лучше разместить ближе к середине длины – 250 ± 6 м, в месте, где имеется возможность установить ковер.

Систему контроля на трубопроводах длиннее 2–2,5 км необходимо разделить на отдельные участки с помощью промежуточных кабельных выводов и двойных концевых терминалов, так как детектор не может контролировать участок длиннее 2,5 км. Детектор настроен таким образом, что сопротивление петли более 200 Ом дает сигнал «обрыв контрольной цепи».

Двойные концевые терминалы применяются в случаях, когда трубопровод строится разными строительными организациями, из деталей разных производителей, или сдача в эксплуатацию участков разнесена по времени.

Если планируется продолжение строительства тепло-трассы (удлинение) в перспективе, обязательно следует предусмотреть установку промежуточного кабельного вывода и двойного концевого терминала на границе проектов для разделения проектов и разграничения зоны ответственности. С помощью коммутации переключателями эксплуатационные службы могут в любое время объединить эти участки, для удобства обслуживания, и разъединить в случае возникновения дефекта.

Если от магистральной линии отходят ответвления, необходимо обозначить на схеме длину каждого ответвления. На ответвлениях от основной трассы длиной более 20 м должны быть установлены промежуточные кабельные выводы. На конце ответвлений более 100 м устанавливают концевые элементы с кабельным выводом и концевым терминалом.

Промежуточные кабельные выводы и промежуточные терминалы на ответвлениях устанавливают на расстоянии не более 300 м от соседних точек контроля.

Когда на трубопроводе много ответвлений, коммутацию выполняют таким образом, чтобы сигнальная петля, с учетом всех ответвлений и соединительных кабелей, не превышала 4–5 км (2–2,5 км трассы).

Всем характерным точкам на схеме необходимо присвоить номер. Нумерации подлежат начало, конец трассы, повороты, ответвления, неподвижные опоры,

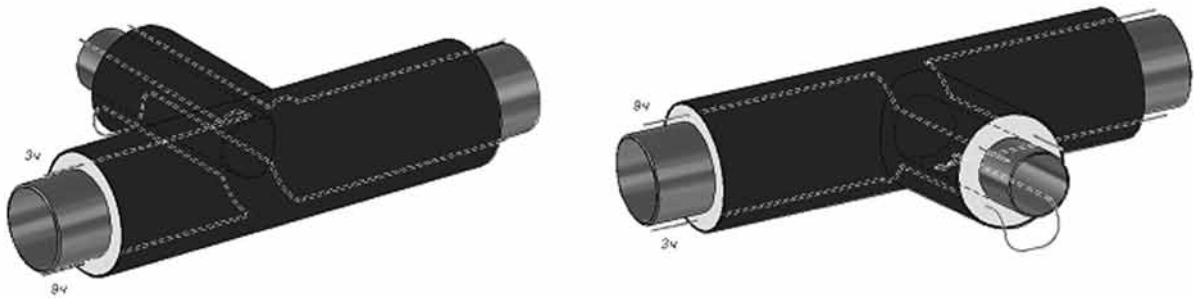


Рисунок 95. Расположение проводников в «универсальном» тройнике

места установки запорной арматуры, воздушников, колодцев. Расстояния между характерными точками заносятся в таблицу расстояний (по оси между трубами). Участки от одного кабельного вывода до другого суммируются.

Когда определены все места установки кабельных выводов и терминалов, пронумерованы характерные точки, составляют спецификацию элементов, имеющих отношение к системе ОДК и маркировке трассы. Эта спецификация присутствует на схеме контроля и является составляющей общей спецификации объекта. В нее входят: детекторы, терминалы, коверра, кабельные выводы, заглушки изоляции, муфты для заделки стыков, сигнальная лента, реперные столбы. К каждому кабельному выводу следует предусматривать в проекте соответствующий терминал, а при необходимости – коверра (настенный или надземный). Концевым элементам с кабельными выводами чаще всего соответствует концевой терминал (при прохождении трубопроводов через камеру может быть проходной терминал).

К элементам с промежуточным кабельным выводом подключают промежуточный терминал, объединяющий с помощью перемычек два участка в одну цепь, который может использоваться и как двойной концевой, для разделения цепи на два независимых участка.

Объединение двух участков в одну цепь необходимо для проверки системы одним детектором из одной точки. Разъединяют трассу на участки для локализации дефекта, разграничения зоны ответственности производителей труб или монтажных организаций.

Характерные точки указываются и на монтажной схеме. В характерных точках устанавливаются реперные столбы. На прямых участках они устанавливаются не далее 100 м от соседних. В местах установки коверра реперные столбы не требуются.

Элемент с кабельным выводом может быть концевым – с трехжильным кабелем или промежуточным – с пятижильным. Терминал может быть концевым, двойным концевым, промежуточным и переходным.

Установка терминалов с разъемами для подключения детекторов в помещениях с повышенной влажностью (тепловые камеры, подвалы домов) не допускается. Промежуточные кабельные выводы нужны для объединения или разъединения двух участков трассы (достигается коммутацией в терминале), для более точного определения места дефекта с помощью импульсного рефлектометра. Объединение требуется

для того, чтобы одним прибором (детектором) можно было контролировать несколько участков трассы.

Разъединение на части необходимо на трубопроводах длиннее двух километров, в случае когда второй участок монтируется другой организацией, как разграничение зоны ответственности, либо сдача в эксплуатацию двух участков разнесена по времени.

От количества и габаритов терминалов зависит размер коверра. В коверра производства ООО «Чебоксарский трубный завод» вмещается два терминала. Настенный коверра должен устанавливаться таким образом, чтобы не нарушать архитектурный облик здания, на котором он установлен. Надземный коверра устанавливают на максимально возможном удалении от тротуаров и проезжей части.

Проект системы ОДК теплотрассы включает в себя пояснительную записку, чертеж системы контроля, на котором приведена принципиальная электрическая схема (далее по тексту – ПЭС) и спецификация заказанного оборудования по системе контроля. В штампе чертежей должны содержаться фамилии и инициалы разработчиков; на чертежах системы ОДК должны быть приведены:

- электрическая принципиальная схема соединения проводов системы контроля;
- характерные точки (начало и конец трубопровода в ППУ изоляции, тройниковые ответвления, неподвижные опоры, точки контроля);
- характерные точки теплотрассы и места расположения контрольных точек необходимо указывать на принципиальной электрической схеме и плане трассы;
- расстояния (в виде таблицы) между характерными точками теплотрассы;
- места установки кабельных выводов и футляров;
- распайка проводов в терминалах;
- типы примененных приборов;
- условные обозначения, используемые на схеме;
- другая информация, необходимая для правильного монтажа и последующей эксплуатации системы;
- расстояние от конечных точек контролируемого участка теплотрассы до места подсоединения ближайших кабельных выводов.

Перечень элементов, прилагаемый к ПЭС, выполняется в форме таблиц и должен содержать данные по расстояниям между контрольными точками, полный список приборов, оборудования, материалов и инструментов, необходимых для проведения монтажных, наладочных и эксплуатационных работ.