ТС-V-2

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ АРХИТЕКТУРЫ И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА Г. МОСКВЫ
ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ МОСЭНЕРГОПРОЕКТ

КОМПЕНСАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ТЕПЛОПРОВОДОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТРУБ, ИЗОЛИРОВАННЫХ ПЕНОПОЛИУРЕТАНОМ В ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ ОБОЛОЧКЕ

АЛЬБОМ ПС-249

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

2000-10

МОСКВА 1989 Г.

Вх. 33681 л. 1/30

gost.e-ecolog.ru

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ АРХИТЕКТУРЫ И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА Г.МОСКВЫ
ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ МОСИНЖКПРОЕКТ

КОМПЕНСАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ТЕПЛОПРОВОДОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТРУБ, ИЗОЛИРОВАННЫХ ПЕНОПОЛИУРЕТАНОМ В ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ ОБОЛОЧКЕ

АЛЬБОМ ПС-249

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

ГЛАВНЫЙ ИНЖЕНЕР ИНСТИТУТА ТИМОФЕЕВ А.К.

НАЧАЛЬНИК ОНСК КОЗЕЕВА В.К.

ЗАКАЗ №89-6704

ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ УКАЗАНИЕМ ПО ИНСТИТУТУ № ОТ

МОСКВА 1989

Инв. 33681 п.2

Обозначение	Наименование	Стр.
ПС-249-00ПЗ	Пояснительная записка	3
ПС-249-01	Основные показатели труб с изоляцией из пенополиуретана в полиэтиленовой оболочке $Д_у$ = 50÷1000 мм	16
ПС-249-02	Область применения способов компенсации температурных перемещений теплопроводов из труб с пенополиуретановой изоляцией	17
ПС-249-03	Предельные длины бесканальной прокладки теплопроводов из труб, изолированных пенополиуретаном, с применением осевых (сильфонных и сальниковых) компенсаторов	18
ПС-249-04	Предельные длины бесканальной прокладки теплопроводов из труб, изолированных пенополиуретаном, с применением гибких (П-образных) компенсаторов и использованием естественной компенсации при поворотах трассы	19
ПС-249-05	Предельные расстояния между неподвижными опорами	20
ПС-249-06	Показатели для определения усилий на неподвижные опоры силы трения, внутреннего давления и тепловых перемещений	21
ПС-249-07	Номограммы для расчета П-образных компенсаторов при B=H	22
ПС-249-08	Номограммы для расчета П-образных компенсаторов при B=1,5H	23
ПС-249-09	Номограммы для расчета П-образных компенсаторов при B=2H	24
ПС-249-10	Номограммы для расчета П-образных компенсаторов при B=2,5H	25
ПС-249-11	Номограммы для расчета Г-образных компенсаторов	26
ПС-249-12	Номограммы для расчета теплопроводов с λ-образными поворотами для $Д_у$ = = 50÷150 мм	27
ПС-249-13	Номограмма для расчета теплопроводов с λ-образными поворотами для $Д_у$ = =200÷1000 мм	28
ПС-249-14	Номограмма для расчета теплопроводов с λ-образными поворотами при сокращенной длине выхлета	29

Инв.№ подл. | Подпись и дата | Взам. инв.№

Инв.№ подл. | Подпись и дата | Взам. инв.№

Вл. 33681 л.3

I. Общая часть.

В соответствии с Решением Мосгорисполкома от II июля 1986 года № 1549 в г.Москве на трубозаготовительном комбинате ПСО Мосинжстрой на базе импортного оборудования организуется выпуск труб и фасонных деталей диаметром условного прохода от 50 до 1000 мм включительно с тепловой изоляцией из пенополиуретана в полиэтиленовой гидроизоляционной оболочке.

В настоящем альбоме, в соответствии с утвержденным техническим заданием, разработаны материалы для проектирования различных способов компенсации температурных перемещений тепловых сетей при их канальной и бесканальной прокладке с применением труб с тепловой изоляцией из пенополиуретана.

Разработанные материалы для проектирования применимы для тепловых сетей с рабочим давлением $P_{раб} \leq 1{,}6$ МПа (16 кгс/см^2) и расчетной температурой теплоносителя 120°С для $Д_у$ 50÷200 мм и 135°С для $Д_у$ 250÷1000 мм (кратковременная пиковая температура $T_{мах} \leq 150$°С).

При разработке материалов учтен зарубежный опыт проектирования, строительства и эксплуатации тепловых сетей с применением труб с теплоизоляцией из пенополиуретана в полиэтиленовой оболочке, а также рекомендации ВТИ им.Ф.Э.Дзержинского по расчету компенсационных усилий и напряжений в бесканальных теплопроводах.

Материалы альбома должны уточняться и корректироваться по результатам экспериментального строительства, а также по мере накопления опыта проектирования, строительства и эксплуатации тепловых сетей в г.Москве с применением труб, изолированных пенополиуретаном в полиэтиленовой оболочке.

2. Конструкция и физико-механические свойства изоляции труб.

2.1. Конструкция труб с индустриальной теплоизоляцией представляет собой 12-тиметровую стальную трубу с нанесенной в заводских условиях тепловой изоляцией из пенополиуретана в полиэтиленовой оболочке. Номенклатура стальных труб, изолированных пенополиуретаном и их основные показатели приведены в док.-01 настоящего альбома.

Процесс изготовления труб основан на производстве полностью объединенных систем (внутренняя труба, теплоизоляционный слой и внешняя полиэтиленовая оболочка) с высокой степенью адгезии.

Для нанесения тепловой изоляции из пенополиуретана в пластмассовой оболочке должны применяться стальные трубы, предусмотренные "Сортаментом стальных труб для строительства подземных трубопроводов в г.Москве", переиздаваемым Мосинжпроектом ежегодно.

2.2. Физико-механические свойства пенополиуретана характеризуются следующими данными:

- рабочая температура теплоносителя:

в трубах диаметром условного прохода $Д_у$ = 50÷200 мм + 120°С (пиковая температура до 150°С), в трубах диаметром условного прохода $Д_у$ = 250÷1000 мм +135°С (пиковая температура до 150°С);

- плотность пенополиуретана не более 70 кг/м^3;
- прочность на сжатие 0,4÷0,3 МПа (4÷3 кгс/см^2);
- прочность на срез 0,3÷0,2 МПа (3-2 кгс/см^2);
- коэффициент теплопроводности не более 0,027 Вт/мк;
- модуль упругости E = 400-500 кгс/см^2 (определен по эмпирической формуле А.Н.Крашенинникова $lgE = 1{,}68\ lg\rho - 0{,}67$; где ρ - плотность пенополиуретана);
- степень адгезии с металлической поверхностью 0,2 МПа (2 кгс/см^2);
- степень адгезии с пластмассовой поверхностью 0,2 МПа (2 кгс/см^2);
- неогнестоек, горюч.

2.3. В качестве оболочек для труб с пенополиуретановой теплоизоляцией используются трубы из полиэтилена низкого давления (высокой плотности) по ГОСТ 16338-85. Физико-механические свойства материала оболочек характеризуются следующими данными:

- плотность 950-960 кг/м^3;
- предел текучести при растяжении 20-25 МПа (200-250 кгс/см^2);
- относительное удлинение при разрыве 200%
- модуль упругости при изгибе 650-800 МПа (6500-8000 кгс/см^2).

2.4. На основе анализа физико-механических свойств тепло- и гидроизоляции труб и сопоставления их с физико-механическими свойствами стальных труб можно сделать следующие выводы:

- слои тепловой изоляции стальных труб не оказывают существенного вли-

				ПС-249-00ПЗ	
Нач.отд	Кобеева				
Гл.спец	Афонин			Пояснительная записка	Стадия: Р; Лист: 1; Листов:
				Вх. 33681 п.4	Мосинжпроект ОНСК
Н.контр	Сабельева				

яния на жесткость и несущую способность теплопроводов, что позволяет выполнение прочностных расчетов, исходя из прочностных показателей материала стальных труб;

-- модули упругости материалов тепло-и гидроизоляции незначительны по сравнению с модулем упругости стали, а толщины слоев изоляции настолько незначительны по отношению к грунтовому массиву, что слои тепло-и гидроизоляции не оказывают существенного влияния на работу трубопровода в грунтовой среде; это позволяет в расчетах системы "труба-грунт" не учитывать прослойку изоляции;

-- высокая степень адгезии пенополиуретана с внешней оболочкой и стальной трубой получаемая при технологическом процессе изготовления, и сравнительно близкие значения коэффициентов линейного расширения материалов обеспечивают совместные деформации под влиянием перепада температур всей системы (стальной трубы, теплоизоляции, внешней оболочки).

Эти предпосылки заложены в основные положения по расчету компенсации теплопроводов с применением труб, изолированных пенополиуретаном в пластмассовой оболочке, и подтверждены зарубежной практикой их проектирования, строительства и эксплуатации.

3. Способы прокладки и компенсации теплопроводов с пенополиуретановой теплоизоляцией.

3.I. Прокладка двухтрубных тепловых сетей с применением труб, изолированных пенополиуретаном в полиэтиленовой оболочке, может осуществляться бесканальным способом или в каналах.

Рекомендуется, как правило применять бесканальный способ прокладки. Канальную прокладку следует применять под проездами, площадями, автомагистралями, при пересечении с трамвайными и железнодорожными путями, при строительстве тепловых сетей в неблагоприятных инженерно-геологических условиях, а также в сложившихся районах с плотной застройкой, с большим насыщением подземного пространства инженерными коммуникациями и при прокладке теплосетей на расстоянии менее 5м от фундаментов существующих зданий и сооружений.

Конструктивные решения канальной и бесканальной прокладки двухтрубных тепловых сетей с пенополиуретановой изоляцией приведены в альбоме СК 3303-87 института Мосинжпроект.

3.2. Компенсация перемещений теплопроводов от перепада температур может осуществляться за счет применения:

- осевых (сильфонных или сальниковых) компенсаторов;
- гибких ("П" - образных) компенсаторов;
- естественной компенсации (самокомпенсации) при "Г" - образных и "Z" - образных поворотах трассы тепловых сетей ;
- предварительного напряжения теплопроводов с жестким закреплением концов участков на неподвижных опорах (жесткая прокладка);
- предварительного напряжения теплопроводов с защемлением их в грунте в напряженном состоянии без дополнительных компенсирующих устройств и неподвижных опор.

3.3. Способы и конструктивные решения компенсации тепловых перемещений теплопроводов назначаются в зависимости от конкретных условий прокладки на основе технико-экономических сопоставлений. В документации - 02 настоящего альбома приведены рекомендации по выбору способа компенсации температурных перемещений теплопроводов в зависимости от условий прокладки и эксплуатации.

При этом при всех способах прокладки теплопроводов и всех видах компенсационных устройств наиболее эффективными являются симметричные схемы компенсации, позволяющие уменьшить усилия в элементах теплосети (неподвижные опоры, направляющие опоры , отводы и т.п.) и дающие возможность использовать унифицированные конструктивные решения.

3.4. Расстояния между неподвижными опорами и длины участков бесканальной прокладки назначаются из условия обеспечения прочности и устойчивости труб с учетом компенсирующей способности применяемых компенсационных устройств.

3.5. При бесканальной прокладке расчет труб производится на воздействие следующих нагрузок:

- внутреннее давление теплоносителя;
- собственный вес изолированных труб и вес теплоносителя;
- давление грунта засыпки на трубы с учетом временной подвижной нагрузки на трубы;
- нагрузки, возникающие при компенсации температурных перемещений - трение о грунт, силы трения в сальниковых компенсаторах или силы упругой деформации в сильфонных, П - образных компенсаторах, при естественной компенсации.

Температурные деформации теплопровода определяются по деформациям стальной трубы.

3.6. При канальной прокладке расчет труб производится на воздействие следующих нагрузок:

- внутреннее давление теплоносителя;
- собственный вес изолированных труб и вес теплоносителя;

– нагрузки, возникающие при компенсации температурных перемещений – трение по скользящим опорам, силы трения в сальниковых компенсаторах или силы упругой деформации в сильфонных, П – образных компенсаторах, при естественной компенсации.

3.7. Для теплопроводов, прокладываемых бесканальным способом с установкой компенсаторов или с использованием естественной компенсации длины участков бесканальной прокладки (расстояния от неподвижной опоры до компенсатора или до начала канального участка) для труб, предусмотренных "Сортаментом стальных труб для строительства подземных трубопроводов в г.Москве" не должны превышать величин указанных в таблице док.-03-04 настоящего альбома.

3.8. Предельные расстояния между неподвижными опорами в теплопроводах при применении труб в соответствии с "Сортаментом стальных труб для строительства подземных трубопроводов в г.Москве " в зависимости от способа прокладки теплопроводов и способов компенсации температурных перемещений приведены в таблице док.-05 настоящего альбома.

3.9. В таблицах приведены предельные длины бесканальной прокладки и расстояния между неподвижными опорами для наиболее часто встречающихся схем.

Для теплопроводов с боковыми усилиями, передающимися на трубы от боковых подсоединений на длинном плече, предельные длины бесканальной прокладки и расстояния между неподвижными опорами определены из условия , при котором величина изгибающих напряжений

$$\sigma_{изг} = \frac{P_{бок} \cdot l_1}{0,8\, W_{рас.}}$$

не превышает 50 (20)МПа (500 (200) кгс/см^2).Величины боковых усилий в этом случае не должны превышать значений, приведенных в таблице №I при расстоянии от оси боковой врезки до грани опоры l_1 =I,5Ду.При расстоянии от оси врезки до грани опоры, отличающемся от I,5Ду, величина боковых усилий должна быть изменена пропорционально

$$K = \frac{l_{1\,факт}}{1,5\,Д_у}$$

Таблица 1

Диаметр условного прохода трубопровода Ду,мм		200	250	300	350	400	500	600	700	800	900	1000
Боковое усилие в тс, создающее изгибающее напряжение	500кгс/см^2	I5	I3,5	I5,0	I6,0	I6,0	I7,5	I0	II,0	I4,0	I7,5	I20,0
	200кгс/см^2	06	I,5	I2,0	I2,4	I2,4	I8,0	I4,0	I4,5	I5,6	I7,0	I0,0

Если длина боковых ответвлений превышает 20м, следует место ответвления защитить неподвижной опорой или Z – образным поворотом.

4. Компенсация температурных перемещений при бесканальной прокладке.

4.I.Для компенсации температурных перемещений при бесканальной прокладке тепловых сетей на прямолинейных участках для труб диаметром более 500мм, а в стесненных условиях и для труб меньших диаметров в основном применяются осевые (сильфонные или сальниковые) компенсаторы.

4.I.I. Сальниковые компенсаторы устанавливаются, как правило, при симметричных схемах, в камерах возле неподвижных опор.

На протяженных прямолинейных участках трассы при наличии затяжных уклонов сальниковые компенсаторы могут устанавливаться в камерах без крепления с установкой направляющих в середине участка между неподвижными опорами ("плавающие" компенсаторы).

4.I.2. Сильфонные компенсаторы с индустриальной заводской теплоизоляцией укладываются, как и основной трубопровод, бесканально, как правило, в середине участка между неподвижными опорами.

На протяженных прямолинейных участках теплопроводов диаметром до 500мм включительно возможна установка двух компенсаторов без устройства неподвижных опор между ними, так как середина между двумя компенсаторами является неподвижной без устройства опор.В качестве устройства, обеспечивающего устойчивость сильфонных компенсаторов являются стальные конструкции, решение которых приведено в альбоме ПС-238 института Мосинжпроект.

4.I.3. Схемы установки осевых компенсаторов приведены на рис I,2.

Вх. 33681 п.6

Инв.№подл. | Подпись и дата | Взам.инв.№

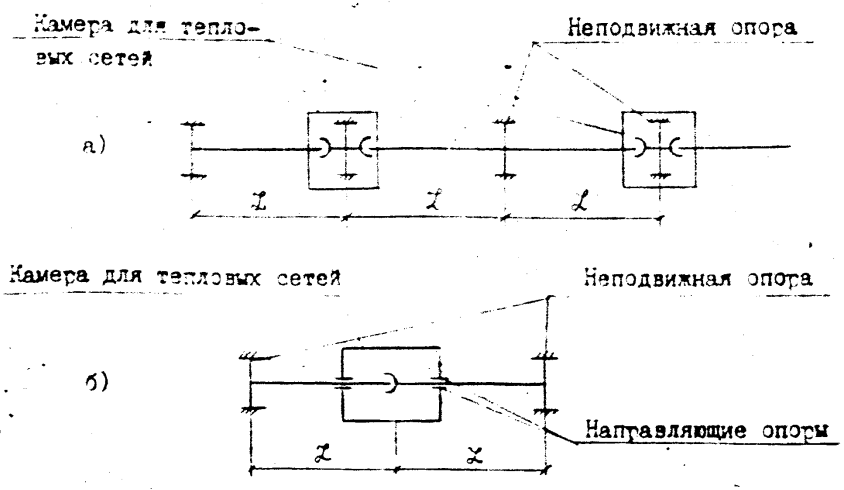


Рис.I. Схемы установки сальниковых компенсаторов при бесканальной прокладке тепловых сетей:
а) с закрепленным компенсатором;
б) с незакрепленным (плавающим) компенсатором.

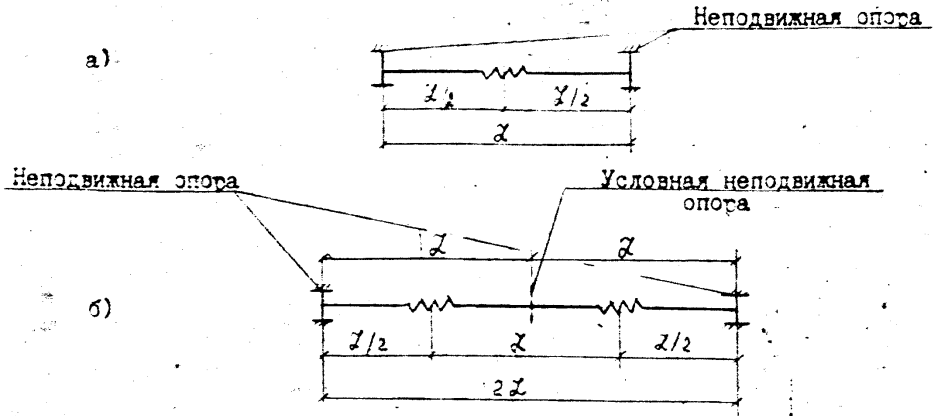


Рис.2. Схемы установки сильфонных компенсаторов при бесканальной прокладке теплопроводов:
а) с одним компенсатором;
б) с двумя последовательно установленными компенсаторами.

Примечание: $\mathcal{L}$ - принимается по док.-05 .

4.I.4. В пределах участка теплопровода между опорой и осевым компенсатором допускается поворот трассы до $I0^{o}$ при условии, что расстояние от компенсатора до угла поворота составляет не менее длины одной целой трубы (I2м).

4.2.Гибкие "П"- образные компенсаторы наиболее широко применяются на прямолинейных участках трасс теплопроводов диаметром 50-400мм, а в отдельных случаях до 500мм включительно.

"П"-образные компенсаторы должны размещаться, как правило, в середине компенсируемых участков.При смещении компенсаторов, длина наибольшего плеча не должна превышать 60% общей длины компенсируемого участка.

4.2.I. При применении гибких компенсаторов в процессе монтажа следует производить предварительную растяжку трубопроводов в обоих направлениях плоского участка.Величина предварительной растяжки должна составлять, как правило, 50% теплового удлинения компенсируемого участка, при этом величину теплового удлинения допускается определять без учета защемления труб в грунте.

4.2.2. Гибкие компенсаторы и примыкающие к ним участки теплопровода должны прокладываться в каналах или грунте с эластичными амортизирующими прокладками.Прокладки должны обладать следующими свойствами:

- большая и продолжительная упругость в широком диапазоне температур;
- минимальное водопоглощение;
- высокая степень сопротивления агрессивным воздействиям окружающего грунта.

Такими свойствами в наибольшей степени обладает вспененный полиэтилен при плотности $\geq 30кг/м^3$.Толщина прокладок определяется исходя из расчетного смещения при условии, что сжатие пены при тепловых перемещениях не должно превышать 50% толщины прокладки.

4.2.3. Расчет гибких компенсаторов производится по номограммам, приведенным в док.-07÷-I0 настоящего альбома.С помощью этих номограмм устанавливаются размеры "плеча" и "вылета" компенсаторов, длины примыкающих к ним канальных участков, сил упругой деформации в компенсаторах, в зависимости от диаметра и марки стали труб.

Рек. 33681 п.7

Инв.№подл. | Подпись и дата | Взам.инв.№

4.3. Углы поворота трасс теплопроводов следует, как правило, использовать для естественной компенсации (самокомпенсации) тепловых перемещений.

4.3.1. При "Z"- образных поворотах теплопроводов углы между осями труб должны быть близки к 90°, при "Г"- образных поворотах не более 120°, в отдельных случаях при симметричных схемах допускается использовать для самокомпенсации углы до 135°.

4.3.2. При использовании не симметрично располагаемых "Z"- образных поворотов для компенсации температурных перемещений теплопроводов длина наибольшего плеча должна составлять не менее 60% от расстояния между неподвижными опорами.

4.3.3. Для обеспечения поперечных деформаций теплопроводов их участки, примыкающие к углам поворотов, должны прокладываться в каналах или с упругими амортизирующими прокладками. Прокладки должны обладать следующими свойствами:

- большая и продолжительная упругость в широком диапазоне температур;
- минимальное водопоглощение;
- высокая степень сопротивления агрессивным воздействиям окружающего грунта.

Такими свойствами в наибольшей степени обладает вспененный полиэтилен при плотности ≈ 30кг/м³. Толщина прокладок определяется исходя из расчетного смещения при условии, что сжатие пены при тепловых перемещениях не должно превышать 50% толщины прокладки.

Длина участка канальной прокладки устанавливается в зависимости от диаметра и марки стали труб, величины угла поворота, расстояния между неподвижными опорами по номограммам, приведенным в док.-11-14 настоящего альбома.

4.3.4. Силы упругой деформации, возникающие в теплопроводе при самокомпенсации определяются также с помощью номограмм.

4.3.5. Наибольшие длины компенсируемых плеч при Г-образных поворотах трассы под прямым углом и наибольшие приведенные длины компенсируемых плеч при тупых внутренних углах трассы (см.п 6.2 настоящей пояснительной записки) при прокладке канальных участков в соответствии с решениями альбома СК 3303-87 Мосинжпроекта не должны превышать величин указанных в таблице 2.

4.3.6. При использовании Г-образных поворотов для компенсации температурных перемещений участков теплопроводов с различными длинами плеч, длина меньшего плеча должна составлять не менее 25% расстояния между неподвижными опорами.

Таблица 2.

Диаметр теплопровода, $Д_у$, мм	Наибольшие длины Z_1, Z_2; a_1Z_1, a_2Z_2 в м при прокладке на поворотах в каналах:							
	НКЛ-0	НКЛ-1	НКЛ-2	НКЛ-4	НКЛ-6	МКЛ-8	МКЛ-10	МКЛ-12
50	20	-	-	-	-	-	-	-
70	20	-	-	-	-	-	-	-
80	20	-	-	-	-	-	-	-
100	25	-	-	-	-	-	-	-
125	30	30	-	-	-	-	-	-
150	-	35	-	-	-	-	-	-
200	-	-	50	-	-	-	-	-
250	-	-	60		-	-	-	-
300	-	-	45	70	-	-	-	-
400	-	-	-	70	-	70	-	-
500	-	-	-	-	80	80	-	-
600	-	-	-	-	80	80	-	-
700	-	-	-	-	-	80	80	-
800	-	-	-	-	-	85	100	-
900	-	-	-	-	-	-	100	110
1000	-	-	-	-	-	-	95	120

4.4. При жесткой прокладке теплопроводов температурные перемещения компенсируются за счет предварительного нагрева теплопровода до определенной температуры с жестким закреплением концов подогретого участка на неподвижных опорах.

4.4.1. Температура предварительного нагрева теплопроводов принимается как средняя величина между рабочей температурой и температурой в период подогрева теплопровода в соответствии с таблицей 3.

4.4.2. Закрепление концов нагретого участка теплопровода на неподвижных опорах должно производиться только после достижения его температурного удлинения расчетной величины т.е. $\Delta l_{факт} = \alpha Z (t_п - t_н)$,

где: Z - длина участка теплопровода до начала подогрева, м,

α - коэффициент линейного расширения стали трубопровода, $\frac{1}{град\ С}$;

$t_п$ - температура предварительного нагрева труб, град С;

$t_н$ - температура наружного воздуха, град С.

Инв. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. №

Таблица 3.

Температура наружного воздуха в период подогрева теплопровода $t_н$, °С	Температура предварительного нагрева труб при рабочей температуре теплоносителя $t_п$, °С				
	70	85	100	120	135
-25	+22	+30	–	–	–
-10	+30	+37	+45	–	–
0	+35	+42	50*	–	–
+10	+40	+47	55	65*	–
+20	+45	+52	60	70*	77*
+25	47	55	62	72*	80*
+30	+50	+57	65	75	82*

В таблице: величины температур указаны при применении труб как из углеродистых так и низколегированных сталей, значком * помечены значения, допускаемые при применении труб только из низколегированных сталей.

4.5. Компенсация температурных напряжений путем предварительного нагрева теплопроводов с защемлением его в грунте позволяет отказаться от применения компенсирующих устройств и неподвижных опор на теплопроводах.

4.5.1. Температура предварительного нагрева, как и при жесткой прокладке, принимается средней между рабочей температурой теплоносителя и температурой в период подогрева теплопровода (см. таблицу 3).

4.5.2. Засыпка нагретого трубопровода должна производиться после достижения его температурного удлинения расчетной величины, засыпка должна производиться с тщательным послойным уплотнением засыпаемого грунта.

5. Компенсация температурных перемещений теплопроводов при прокладке в непроходных каналах.

Для компенсации температурных перемещений теплопроводов, прокладываемых в непроходных каналах, с применением труб изолированных пенополиуретаном, применяются компенсационные средства и мероприятия, приведенные в п.4 настоящей пояснительной записки, за исключением предварительного нагрева с жестким закреплением на опорах, защемлением труб в грунте.

5.1. При применении для компенсации температурных перемещений теплопроводов, прокладываемых в каналах, осевых (сильфонных или сальниковых) компенсаторов компенсационные усилия в трубопроводе возникают от сил трения в подвижных опорах и усилий трения (в сальниках) или упругой деформации (в сильфонах). Расстояния между неподвижными опорами при конструктивных решениях прокладки по альбому СК 3303-87 определяются в зависимости от компенсирующей способности компенсаторов (см. док.-05 настоящего альбома).

5.2. При использовании гибких компенсаторов, а также естественной компенсации расчеты теплопроводов на компенсацию температурных перемещений проводятся также, как и при канальной прокладке теплопроводов с любым другим видом теплоизоляции. Методы расчета, справочные данные и необходимые номограммы достаточно подробно изложены в нормативной и справочной литературе по проектированию тепловых сетей и в настоящей работе не рассматриваются.

6. Правила пользования номограммами по расчету компенсации температурных перемещений теплопроводов при бесканальной прокладке.

6.1. Расчет компенсации температурных перемещений с помощью гибких компенсаторов производится по номограммам № 1÷8, построенных для теплопроводов с применением труб из углеродистых сталей. При применении труб из низколегированных сталей размеры компенсатора (вылет и спинка) и длины примыкающих к нему канальных участков принимаются с коэффициентом 0,9, а силы упругой деформации в компенсаторе с коэффициентом -1,25.

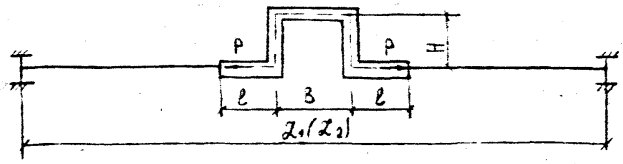


Рис.3. Схема компенсации с П-образным гибким компенсатором.

6.I.I. Определение размеров П-образных компенсаторов.

Вылет компенсатора (Н) и размер его спинки (В) определяются по кривой номограмм для соответствующего диаметра труб и принятого соотношения В:Н в зависимости от расстояния между неподвижными опорами по шкале $\mathcal{L}_1$ -без предварительного напряжения компенсатора, и по шкале $\mathcal{L}_2$ - при предварительной растяжке компенсатора на 50% тепловых удлинений.

Пример I: Ду=500мм, В=I,5Н, расстояние между опорами =74,5м.

По номограмме №4 для компенсатора без предварительной растяжки по шкале $\mathcal{L}_1$=74,5м находим Н=6,7м и В=I,5Н=I0,05м для компенсатора с предварительной растяжкой на 50% тепловых удлинений находим Н=4,82м и В=I,5Н=7,24м.

6.I.2. Определение длин канальных участков (ℓ), примыкающих к компенсатору.

Длина канального участка определяется по кривой номограмм для соответствующего диаметра трубы и принятого соотношения В:Н в зависимости от расстояния между неподвижными опорами по шкале $\mathcal{L}_1$ -для компенсаторов без предварительной растяжки или по шкале $\mathcal{L}_2$ - для компенсаторов с предварительной растяжкой на 50% тепловых удлинений.

Пример I по п. 6.I.I: находим для компенсатора без предварительной растяжки по шкале $\mathcal{L}_1$=74,5м, ℓ =2,65м, при предварительной растяжке компенсатора на 50% тепловых удлинений для Ду=500мм принимаем ℓ =I,5м (при предварительной растяжке длины канальных участков принимаются для трубопроводов Ду=200÷300мм - не менее Iм, а для Ду=350-500мм - не менее I,5м).

6.I.3. Определение сил упругой деформации (Р) в компенсаторе.

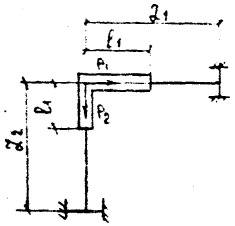
Сила упругой деформации (Р) определяется по кривой номограмм для соответствующего диаметра труб и принятого соотношения В:Н в зависимости от расстояния между неподвижными опорами $\mathcal{L}$ при условии, что размеры компенсатора и длины примыкающих к нему канальных участков приняты в соответствии с номограммами.

Пример I по пп.6.I.I и 6.I.2 по номограмме находим: для компенсатора без предварительной растяжки по шкале $\mathcal{L}_1$=74,5 м Р=4380кгс и для компенсатора с предварительной растяжкой по шкале $\mathcal{L}_2$=74,5м и Р=6I80кгс.

6.2. Расчет компенсации температурных перемещений трубопроводов с использованием Г-образных поворотов производится по номограммам №I0, разработанным для стальных труб из углеродистых сталей.

При применении для теплопроводов труб из низколегированных сталей длины канальных участков принимаются с коэффициентом 0,9, а силы упругой деформации - с коэффициентом I,25.

а) для поворота под прямым углом



б) для поворота под тупым углом

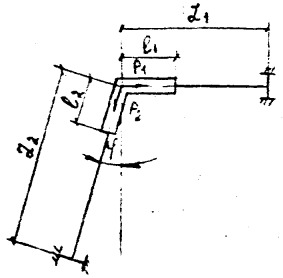


Рис.4. Схема компенсации Г-образных поворотов теплопровода

6.2.I. Длина канального участка, примыкающего к точке поворота трассы, находится по номограмме №I0 в зависимости от длины примыкающего плеча (ℓ_1 от $\mathcal{L}_2'$ и ℓ_2 от $\mathcal{L}_1'$), где $\mathcal{L}_1'$ и $\mathcal{L}_2'$ - приведенные длины плеч Г- образного поворота, равные фактическим длинам плеч, умноженным на поправочные коэффициенты a_1 и a_2 ($\mathcal{L}_1'=\mathcal{L}_1 a_1$ и $\mathcal{L}_2'=\mathcal{L}_2 a_2$).

Поправочные коэффициенты находятся по номограмме №II в зависимости от угла φ (превышение внутреннего угла трассы над 90°) и отношения $\frac{\mathcal{L}_1}{\mathcal{L}_2}$ - для a_2 и $\frac{\mathcal{L}_2}{\mathcal{L}_1}$ - для a_1. При повороте трассы под прямым углом коэффициенты $a_1=a_2=1$.

При разнице в длинах плеч, примыкающих к углу поворота, не более 25% допускается принимать равные длины канальных участков, которые определяются по средней величине плеча $\mathcal{L}'_{ср}=\frac{\mathcal{L}_1'+\mathcal{L}_2'}{2}$ или $\mathcal{L}'_{ср}=\frac{\mathcal{L}_1+\mathcal{L}_2}{2}$ для прямого угла поворота и $\mathcal{L}'_{ср}=\frac{\mathcal{L}_1 a_1+\mathcal{L}_2 a_2}{2}$ для тупого угла.

Пример 2: Ду=400мм, $\mathcal{L}_1$=40м и $\mathcal{L}_2$=55м, поворот трассы под прямым углом. По номограмме №10 находим - для $\mathcal{L}_1'=\mathcal{L}_1$=40м ℓ_2=I2,5м
- для $\mathcal{L}_2'=\mathcal{L}_2$=55м ℓ_1=I5,0м

Пример 3: Ду=500мм, $\mathcal{L}_1$=40м и $\mathcal{L}_2$=55м, угол φ=40°. По номограмме 11 находим: - для $\frac{\mathcal{L}_1}{\mathcal{L}_2}=\frac{40}{55}$ =0,725 → a_2=I,9

ИНВ.№ ПОДЛ. | ПОДПИСЬ И ДАТА | ВЗАМ. ИНВ.№

- для $\frac{\mathcal{L}_2}{\mathcal{L}_1}=\frac{55}{40}=1,375 \rightarrow a_1=2,4$

по номограмме №10 для длин плеч

$\mathcal{L}_1'=\mathcal{L}_1 \times a_1=40 \times 2,4=96$м и

$\mathcal{L}_2'=\mathcal{L}_2 \times a_2=55 \times 1,9=104,5$м находим соответственно $\ell_2=23$м и $\ell_1=25$м, принимаем среднюю длину канальных участков $\ell=24,0$м.

6.2.2. Силы упругой деформации (Р) для прямого угла поворота определяются по номограммам 9;10 для соответствующего диаметра труб в зависимости от длины примыкающего канального участка P_1 от ℓ_2 (или от $\mathcal{L}_2'$) и P_2 от ℓ_1 (или от $\mathcal{L}_1'$).

Пример 2 по п.6.2.1: Ду=400мм

При $\mathcal{L}_1'=\mathcal{L}_1=40$м и $\ell_2=12,5$м, $P_1=1500$кгс;

при $\mathcal{L}_2'=\mathcal{L}_2=55$м и $\ell_1=15$м $P_2=1300$кгс.

6.2.3. Силы упругой деформации в теплопроводах при тупом внутреннем угле трассы $(90^\circ+\varphi)$ определяются по номограммам № 9; 10 соответствующего диаметра в зависимости от приведенной длины канального участка, равной фактической длине, умноженной на поправочный коэффициент "в", P_1 от $\frac{\ell_2}{\delta_1}$ и P_2 от $\frac{\ell_1}{\delta_2}$.

Поправочные коэффициенты находятся по номограмме №11 по углу φ и отношению $\frac{\ell_1}{\ell_2}$ – для $в_1$ и $\frac{\ell_2}{\ell_1}$ – для $в_2$.

Пример 3 по п.6.2.1: Ду=500мм, $\varphi=40^\circ$, $\ell_1=24$м и $\ell_2=23$м, по номограмме №11 для $\varphi=40^\circ$ находим: – для $\frac{\ell_1}{\ell_2}=\frac{24}{23}=1,04 \rightarrow в_1=2,2$;

– для $\frac{\ell_2}{\ell_1}=\frac{23}{24}=0,96 \rightarrow в_2=2,1$.

По номограмме №10 находим: – для $\frac{\ell_1}{\delta_2}=\frac{24}{2,1}=11,43 \rightarrow P_2=2700$кгс;

– для $\frac{\ell_2}{\delta_1}=\frac{23}{2,2}=10,45 \rightarrow P_1=2950$кгс. При средней длине канального участка $\ell_2=\ell_1=23,5$м, $P_2=P_1=2775$кгс.

6.2.4. При применении для теплопроводов стальных труб из низколегированных сталей длины канальных участков принимаются с коэффициентом 0,9, а силы упругой деформации с коэффициентом 1,25.

6.3. Расчет компенсации температурных перемещений теплопроводов с использованием „Z"- образных поворотов производится по номограммам №12, 13, 14, построенным для труб из углеродистых сталей. При применении для теплопроводов труб из низколегированных сталей значение вылета „Z"-образного поворота и примыкающих к нему канальных участков принимаются с коэффициентом 0,90, а силы упругой деформации – с коэффициентом 1,25.

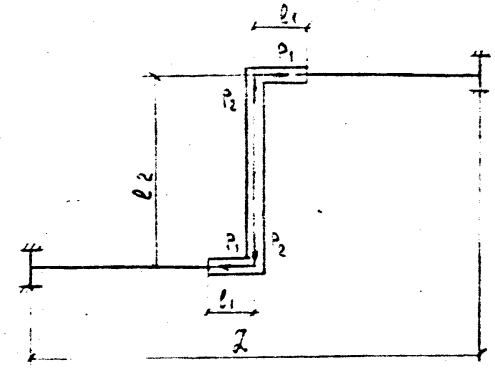


Рис.5. Схема компенсации с Z-образным поворотом теплопровода.

6.3.1. Определение длин канальных участков производится по номограммам № 12, 13 в следующей последовательности:

– по правой части номограммы № 12 или 13 для соответствующего диаметра труб в зависимости от расстояния между неподвижными опорами $\mathcal{L}$ находится длина вылета „Z"-образного поворота, прокладываемого в канале (ℓ_2);

– затем по левой части номограммы 12 или 13 определяется длина канальных участков, примыкающих к вылету (ℓ_1) для соответствующего диаметра в зависимости от длины канального участка ℓ_2

Пример: $Д_у$ = 500 мм; $\mathcal{L}$ = 75 м.

По правой части номограммы 13 для $Д_у$=500 мм и $\mathcal{L}$=75 м находим ℓ_2=22,5 м, затем по левой части номограммы 13 для ℓ_2=22,5 м и $Д_у$=500мм находим ℓ_1=6,4 м.

6.3.2. Силы упругой деформации определяются по номограммам № 12, 13 в следующей последовательности:

– Сила упругой деформации P_1 действующая на плечах „Z"-образного поворота определяется в зависимости от длины среднего канального участка ℓ_2 для соответствующего диаметра по правой части номограмм № 12, 13

– Сила упругой деформации P_2, действующая на среднем канальном участке находится в зависимости от длины канальных участков, примыкающих к вылету поворота, для соответствующего диаметра по левой части номограмм № 12, 13.

Пример 4 по п.6.3.1: $Д_у$=500 мм ℓ_1=6,4 м ℓ_2=22,5 м

– по правой части номограммы № 13 для $Д_у$=500 мм и ℓ_2=22,5 м находим P_1=1360 кгс;

Инв.№ подл. | Подпись и дата | Взам. инв. №

– по левой части номограммы № 13 для $Д_у$=500 мм и ℓ_I=6,4 м находим силу P_2=3400 кгс.

6.3.3. В том случае, когда по условиям местности необходимо принять длину канального участка ℓ_2 меньше, чем рекомендуется номограммами № 12, 13 длины канальных участков следует определять в зависимости от фактической длины среднего участка ℓ_2.

По номограмме № 14 по отношению $\frac{\ell_2}{Д_н}$ для кривой, соответствующей длине компенсируемого участка, определяем $к = \frac{\ell_1}{Д_н}$, а затем $\ell_I = к \cdot Д_н$.

Пример 4 по п.6.3.1.

По условиям местности длина ℓ_2 принимается равной 15 м (вместо 22,5м)

По номограмме № 14 в зависимости от $\frac{\ell_2}{Дн} = \frac{15}{0,530} \approx 30$ по кривой для $\frac{\mathcal{L}}{Дн} = \frac{75}{0,53} \approx 150$ находим отношение $\frac{\ell_I}{Дн} = 35$. Далее определяем

$$\ell_I = 35 \times Дн = 35 \times 0,53 = 19 \text{ м.}$$

7. Усилия на неподвижные опоры.

Горизонтальные нагрузки на неподвижные опоры теплопроводов возникают от следующих воздействий:

– сила трения теплопровода о грунт на участках бесканальной прокладки при температурных перемещениях теплопроводов;

– силы трения теплопровода о песчаную подушку на канальных участках бесканальной прокладки при температурных перемещениях теплопровода;

– силы трения теплопровода в подвижных опорах при температурных перемещениях теплопровода, прокладываемого в каналах;

– силы трения в сальниковых компенсаторах при температурных перемещениях теплопровода;

– силы упругой деформации сильфонных и гибких компенсаторов или естественной компенсации (самокомпенсации) при предварительном напряжении в холодном состоянии и при температурных деформациях теплопровода;

– силы упругой деформации теплопроводов, прокладываемых с предварительным напряжением путем подогрева с последующим закреплением на опорах, при их температурных перемещениях;

– распорные усилия сильфонных компенсаторов и силы внутреннего давления при применении неуравновешенных сальниковых компенсаторов.

При применении гнутых компенсаторов (П-образных компенсаторов, Г-образных и Z-образных поворотов и т.п.) силы внутреннего давления воспринимаются трубопроводом и на неподвижные опоры не передаются.

При установке по всей трассе теплопровода уравновешенных сальниковых компенсаторов силы внутреннего давления уравновешиваются конструкцией компенсатора и на неподвижные опоры не пердаются.

7.1. Сила трения теплопровода о грунт при бесканальной прокладке, сила трения теплопровода о песчаную подушку на канальных участках при бесканальной прокладке и силы трения теплопровода в подвижных опорах при канальной прокладке определяются по формуле:

$$Тр. = \tau_{тр} \times \mathcal{L}$$

где: $\tau_{тр}$ – усилие трения на 1 п.м теплопровода при соответствующем способе прокладки (см. док. -06 настоящего альбома);

$\mathcal{L}$ – длина соответствующего участка в м.

7.2. Силы трения в сальниковых компенсаторах определяются в зависимости от величины рабочего давления теплоносителя и диаметра трубы. Для Рраб. = 1,6МПа (16 кгс/см^2) величины сил трения в сальниках приведены в док. -06 настоящего альбома.

7.3. Силы упругой деформации (жесткость) и распорные усилия сильфонных компенсаторов определяются в зависимости от количества устанавливаемых на участке компенсаторов. Силы упругой деформации (жесткость) и распорные усилия для одного элемента сильфонных компенсаторов приведены в таблице док. -06 настоящего альбома.

Силы упругой деформации в П-образных компенсаторах и естественной компенсации определяются по соответствующим номограммам. Для способа бесканальной прокладки теплопроводов номограммы приведены на соответствующих листах настоящего альбома.

Для способа канальной прокладки тепловых сетей силы упругой деформации следует определять по номограммам, приведенным в Справочнике проектировщика "Проектирование тепловых сетей" (под редакцией А.А.Николаева. М 1965 г.) или путем расчета с использованием ЭВМ по соответствующим программам.

7.4. Силы упругой деформации теплопровода при жесткой прокладке определяются по формуле $Рж = \alpha E x f_{тр} x \Delta t = A x \Delta t$

где: А – усилие упругой деформации в трубе при изменении температуры на 1°С (см. док. -06 настоящего альбома);

Δt – разница температуры теплопровода между расчетной температурой теплоносителя и температурой нагрева теплопровода при предварительном напряжении.

ИНВ. № ПОДЛ. ПОДПИСЬ И ДАТА ВЗАМ. ИНВ. №

7.5. Силы внутреннего давления передаются на те неподвижные опоры, которые расположены между неуравновешенным сальниковым компенсатором и поворотом трубы, между двумя смежными участками с разными диаметрами сальниковых компенсаторов, на участке с задвижкой (при её закрытии) или с заглушкой.

Силы внутреннего давления неуравновешенных сальниковых компенсаторов для рабочего давления теплоносителя I,6 МПа (I6 кгс/см^2) приведены в таблице док. -06 настоящего альбома.

Для случая с переходом диаметров труб силу внутреннего давления определяют как разность сил внутреннего давления соответствующих диаметров, направление силы - в сторону меньшего диаметра.

7.6. Горизонтальную осевую нагрузку на неподвижные опоры следует определять:

- на концевую опору - как сумму сил действующих на опору;
- на промежуточную опору-как разность сумы сил, действующих с каждой стороны опоры; при этом меньшая сумма сил, за исключением неуравновешенных сил внутреннего давления, распорных усилий и сил упругой деформации (жесткости) сильфонных компенсаторов, принимается с коэффициентом 0,7.

Когда суммы сил, действующих с каждой стороны промежуточной неподвижной опоры, одинаковы, горизонтальная осевая нагрузка на опору определяется как сумма сил, действующих с одной стороны опоры, с коэффициентом 0,3.

Сводные расчетные формулы для определения сил на неподвижные опоры в зависимости от схем компенсации для наиболее часто повторяющихся случаев приведены в таблицах II.2 и II.3 Справочника под редакцией А.А.Николаева.

8. Основные расчетные положения.

8.I. При расчете теплопроводов на компенсацию температурных перемещений приняты физико-механические свойства изоляции труб, приведенные в разделе 2 настоящей пояснительной записки, предопределяющие следующие особенности работы теплопроводов:

- совместные деформации стальной трубы и изоляции под влиянием перепада температур;
- несущая способность теплопроводов при компенсации температурных перемещений определяется прочностью стальных труб;
- при бесканальной прокладке в работе системы "труба-грунт" влияние слоев тепло- и гидроизоляции бесконечно мало.

8.2. Расчеты гибких компенсаторов и участков естественной компенсации на температурные воздействия при бесканальной прокладке произведены как для статически неопределимых систем по методике, разработанной Киевским инженерно-строительным институтом. При этом участки бесканально проложенного трубопровода рассматривались как бесконечные балки на упругом основании.

В расчетах принято:

- коэффициент постели упругого основания I,5 кгс/см^3;
- допускаемые изгибающие компенсационные напряжения (установленные расчетом) $[\sigma_{ик}]$ = I000 кгс/см^2 - для углеродистых сталей
  $[\sigma_{ик}]$ = I200 кгс/см^2 - для низколегированных сталей;
- модуль упругости стали труб E = 2xI0^6 кгс/см^2;
- коэффициент линейного расширения трубной стали α=I2,5xI0^{-6} $\frac{I}{\text{град}}$
- величины температурных деформаций - без учета уменьшения за счет сил трения в грунта;
- максимальная температура теплоносителя +I50°С.

8.3. Допускаемые изгибающие компенсационные напряжения определены расчетом в соответствии со справочным пособием Ленинградского отделения Теплоэлектропроекта для механических расчетов трубопроводов тепловых сетей при бесканальной прокладке с соблюдением требований Правил Котлонадзора.

8.4. Для бесканальных прокладок силы трения трубопроводов о грунт, а также предельные длины участков определены при высоте засыпки над верхом изоляции труб 0,7-I,5 м, что соответствует оптимальным условиям прокладки тепловых сетей, и при удельном весе грунта засыпки γ=I,8 т/м^3 и угле внутреннего трения φ= 26-30°.

Сила трения трубопроводов о грунт на I п.м рассчитана по формуле:

$$Р_{тр} = к \times f \times q \times Д_I \cong I,2 Д_I \quad т/п.м$$

где: к - эмпирический коэффициент, равный 0,85;
f - коэффициент трения оболочки о грунт, равный 0,5÷0,6;
q - средняя интенсивность давления грунта о трубопровод с учетом воздействия временной подвижной нагрузки на поверхности (1,8÷2,0 тс/м^2);
$Д_I$ - наружный диаметр трубопровода (по изоляции) в м.

8.5. Силы трения на участках канальной прокладки определены по обычным формулам строительной механики. При этом коэффициент трения для трубопроводов, уложенных на опоры, принимают равным 0,3, а для трубопроводов, уложенных на песчаную подушку - 0,5.

8.6. Усилия в сальниковых и сильфонных компенсаторах определены в соответствии с указаниями СНиП 2.04.07-86 "Тепловые сети".

ИНВ.№ ПОДЛ. | ПОДПИСЬ И ДАТА | ВЗАМ. ИНВ.№

9. Технико-экономическое сопоставление способов компенсации температурных перемещений в теплопроводах с применением труб с пенополиуретановой теплоизоляцией.

9.1. Приведенная в док. -02 настоящей пояснительной записки рекомендуемая область применения способов компенсации температурных перемещений является оптимальной из условий стоимости и трудоемкости строительства с учетом условий и требований по эксплуатации компенсирующих устройств.

9.2. Основные достоинства и недостатки способов компенсации температурных перемещений теплопроводов приведены в нижеследующей таблице 4.

Таблица 4.

Способ компенсации температурных перемещений	Основные достоинства способа	Основные недостатки способа
с применением сильфонных компенсаторов	- не требуется дополнительных объемов подземного пространства для установки компенсаторов; - не требуется проведение профилактических ремонтов в процессе эксплуатации; - при бесканальной прокладке теплопроводов компенсатор прокладывается бесканально; - повышается герметичность теплопровода, за счет чего сокращаются потери топливно-энергетических ресурсов; - не увеличивается длина прокладки теплопровода;	- сравнительно высокая стоимость по сравнению с сальниковыми компенсаторами;
с применением сальниковых компенсаторов	- не требуется дополнительных объемов подземного пространства для установки компенсаторов; - не увеличивается длина прокладки теплопроводов;	- требуются периодический осмотр и профилактический ремонт в процессе эксплуатации; - в компенсаторах, как правило, имеются утечки, за счет чего снижается герметичность теплопроводов и увеличиваются потери топливно-энергетических ресурсов; - при бесканальной прокладке теплопроводов требуется устройство камер для установки компенсатора;
с применением гибких (П-образных) компенсаторов	- не требуется профилактического осмотра и ремонта компесаторов;	- требуется дополнительное подземное пространство для устройства компенсационных ниш;

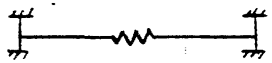
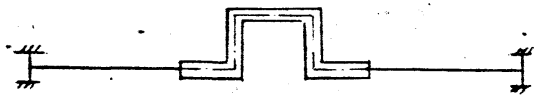
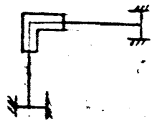
Инв. № подл. Подпись и дата Взам. инв. №

Способ компенсации температурных перемещений	Основные достоинства способа	Основные недостатки способа
с применением гибких (П-образных) компенсаторов	- не требуется дополнительной номенклатуры фасонных частей и трубопроводной арматуры; - повышается герметичность теплопроводов, за счет чего снижаются потери топливно-энергетических ресурсов;	- увеличивается за счет устройства ниш расход стальных труб и сборного железобетона; - при бесканальной прокладке требуется устройство ниши в каналах и примыкающих к ней канальных участков или устройство эластичных упругих прокладок, обеспечивающих свободную поперечную деформацию теплопроводов;
с использованием для естественной компенсации (самокомпенсации) Г-образных и Z-образных поворотов трассы	- не требуется профилактического осмотра и ремонта компенсаторов; - не требуется дополнительной номенклатуры фасонных частей и трубопроводной арматуры; - повышается герметичность теплопроводов, за счет чего снижаются потери топливно-энергетических ресурсов; - не требуется дополнительных объемов подземного пространства для их устройства;	- при бесканальной прокладке требуется устройство на поворотах канальных участков или устройство упругих прокладок, обеспечивающих свободную поперечную деформацию теплопроводов на углах поворота;
предварительное напряжение теплопровода с закреплением на неподвижных опорах (жесткая прокладка) при бесканальной прокладке	- отсутствие каких-либо дополнительных фасонных частей и трубопроводной арматуры для компенсации температурных перемещений; - отсутствие канальных участков при бесканальной прокладке; - по данным зарубежных фирм снижение стоимости строительства не менее, чем на 20%;	- жесткие требования к прямолинейности трубопровода; - невозможность устройства врезок между неподвижными опорами в процессе эксплуатации теплопровода; - отсутствие опыта применения способа в условиях г.Москвы;
предварительное напряжение теплопроводов с последующим защемлением их в грунтовой засыпке при бесканальной прокладке	- отсутствие каких-либо дополнительных фасонных частей и трубопроводной арматуры для компенсации температурных перемещений; - отсутствие канальных участков при бесканальной прокладке; - по данным зарубежных фирм снижение стоимости строительства не менее, чем на 20%; - исключается необходимость устройства неподвижных опор.	- жесткие требования к прямолинейности трубопровода; - невозможность устройства врезок между неподвижными опорами в процессе эксплуатации теплопровода; - отсутствие опыта применения способа в условиях г.Москвы.

ИНВ. № ПОДЛ. | ПОДПИСЬ И ДАТА | ВЗАМ. ИНВ. №

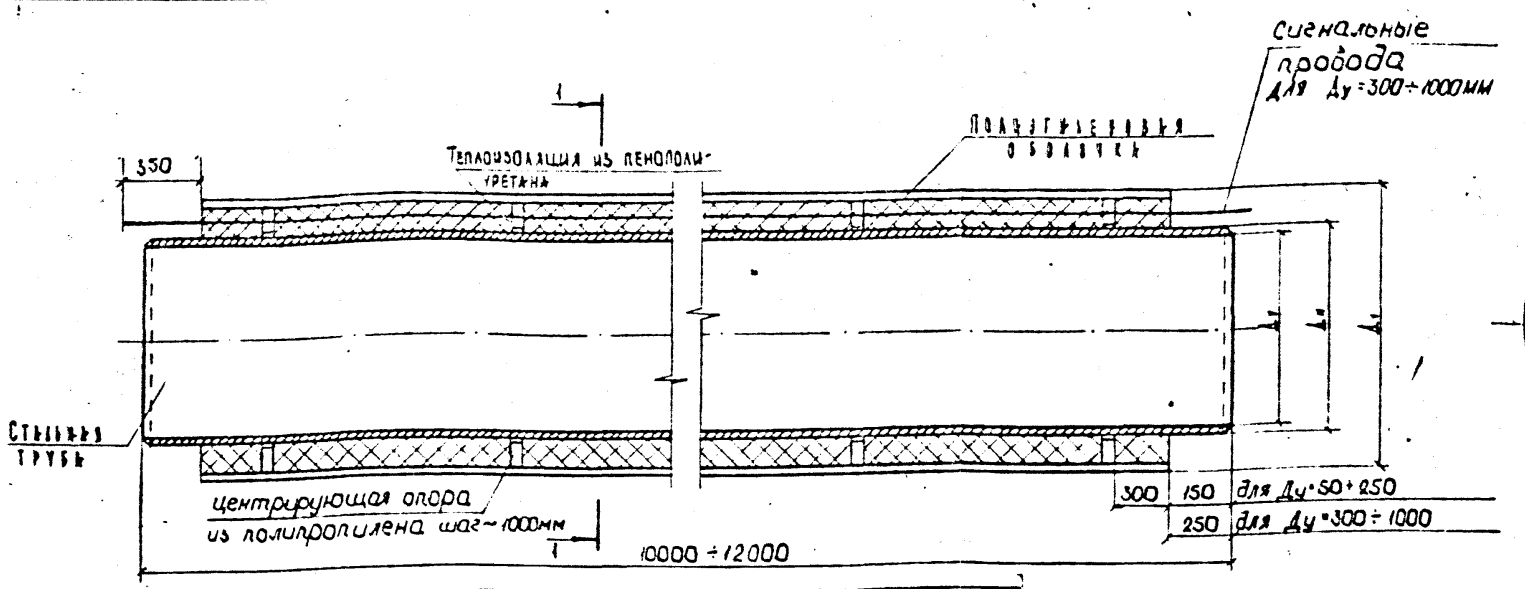
9.3. Ориентировочные данные по стоимости различных способов компенсации теплопроводов при бесканальной прокладке приведены в таблице 5 на примере трубопровода $Д_у$ = 400 мм с расстоянием между неподвижными опорами 70 м.

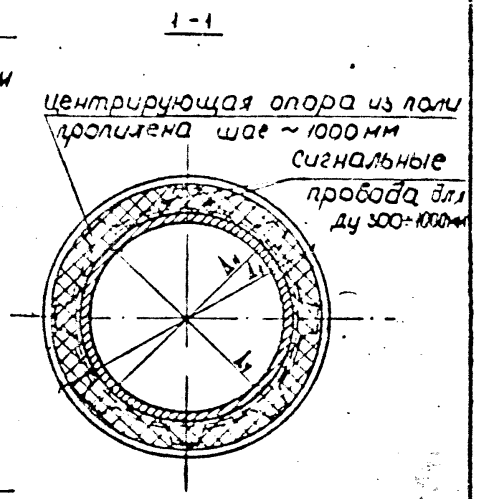
Таблица 5

Способ компенсации температурных перемещений теплопроводов	Состав работ (без учета земляных работ)	Стоимость работ, тыс руб.		Процентное соотношение
		по элементам	всего	
с установкой сильфонного компенсатора 	– установка компенсатора с учетом его стоимости	2,9	2,9	108%
с установкой сальникового компенсатора 	– установка компенсатора с учетом его стоимости – устройство камеры для установки компенсатора (габарит камеры 2,1х2,7)	0,32 2,4	2,72	100%
с устройством гибкого П-образного компенсатора 	– укладка дополнительных труб на длине 15 м с учетом стоимости труб – устройство канала для П-образного компенсатора и примыкающих к нему участков на общей длине 18,5 м	1,4 1,6	3,0	111,5%
с использованием естественной компенсации Г-образного поворота с симметричными плечами по 35 м 	– устройство канальных участков на примыкании к углу поворота НКЛ-4 общей длиной 25 м	2,2	2,2	81,5%

Как видно из таблицы наиболее экономичной по стоимости строительства является естественная компенсация, наиболее дорогим – гибкий компенсатор, но стоимостные показатели отличаются незначительно, в пределах 10%.

Инв. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. №





Марка трубы	Размеры, мм: диаметр условного прохода стальной трубы Ду	наружный диаметр Дн и толщина трубы δ1	диаметр трубы с теплоизоляцией	толщина теплоизоляции	диаметр трубы с полиэтиленовой оболочкой и толщина оболочки δ2	Расход материалов: количество центрирующих опор, шт	пенополиуретан, м³ / кг	полиэтиленовая оболочка, кг	грунтовка ГФ-021 (ГОСТ 25129-82), кг	Масса, кг: стальной трубы	трубы с изоляцией и полиэтиленовой оболочкой
ППУ – 57	50	57×3,5	134,0	38,5	140×3,0	12	0,13 / 9,10	14,5	0,05 / 0,12	55,4	79,0
ППУ – 76	70	76×3,5	154,0	39,0	160×3,0		0,16 / 11,20	16,7	0,07 / 0,14	75,1	103,0
ППУ – 89	80	89×3,5	174,0	42,5	180×3,0		0,20 / 14,00	18,2	0,0085 / 0,17	88,6	120,8
ППУ – 108	100	108×4	193,6	42,8	200×3,2		0,23 / 16,10	22,2	0,1 / 0,2	123,6	161,9
ППУ – 133	125	133×4	218,0	42,5	225×3,5		0,26 / 18,20	26,6	0,125 / 0,25	152,4	197,2
ППУ – 159	150	159×4,5	242,2	41,6	250×3,9		0,29 / 20,30	34,3	0,15 / 0,30	206,4	261,0
ППУ – 219	200	219×6	305,2	43,1	315×4,9		0,39 / 27,30	53,2	0,15 / 0,30	378,0	458,5
ППУ – 273	250	273×7	387,4	57,2	400×6,3		0,39 / 46,80	86,6	0,21 / 0,42	550,8	683,6
ППУ – 325	300	325×7	436,0	55,2	450×7,0		0,73 / 51,10	108,3	0,26 / 0,52	657,6	817,0
ППУ – 426	400	426×7	542,4	58,2	560×8,8		0,89 / 71,20	168,5	0,69 / 1,38	866,4	1103,5
ППУ – 530	500	530×7	687,8	78,9	710×11,1		1,57 / 115,90	270,7	0,83 / 1,66	1083,6	1471,2
ППУ – 630	600	630×8	775,0	72,5	800×12,5		1,75 / 122,50	343,7	0,99 / 1,98	1464,0	1930,2
ППУ – 720	700	720×8	872,0	76,0	900×14,0		2,07 / 144,90	433,1	1,15 / 2,26	1692,0	2270,0
ППУ – 820	800	820×9	963,8	74,4	1000×15,6		2,26 / 158,20	536,2	1,29 / 2,58	2160,0	2854,4
ППУ – 920	900	920×10	1064,8	72,4	1100×17,6		2,43 / 170,10	565,2	1,45 / 2,90	2688,0	3523,3
ППУ – 1020	1000	1020×11	1160,8	70,4	1200×19,6		2,59 / 181,30	807,9	1,60 / 3,20	3288,0	4277,2

1. Трубы марки ППУ предназначены для применения при бесканальной прокладке и на канальных участках теплопроводов при Ду = 50 ÷ 1000 мм.
2. Стальные трубы должны соответствовать требованиям „Правил устройства и безопасности трубопроводов пара и горячей воды" (раздел 2) Материалы и полуфабрикаты. Госгортехнадзор СССР и СНиП 2.04.07-86 „Тепловые сети".
3. Основные показатели труб с изоляцией из пенополиуретана в полиэтиленовой оболочке приведены в соответствии с техническими заданиями на разработку предложений на поставку технологического оборудования и разработку технических условий на строительство тепловых сетей, утвержденных Мосгорисполкомом.
4. Масса труб с теплоизоляцией и полиэтиленовой оболочкой определена исходя из следующих условий: масса стальных труб дана без учета металла на усиление сварных швов (теоретическая), плотность пенополиуретана – 70 кг/м³, плотность полиэтиленовой оболочки – 0,967 г/см³ при длине трубы 12 м.
5. Неизолированные концы труб покрываются краской БТ-177 ОСТБ-10-426-79 по грунтовке ГФ-021 ГОСТ 25129-83.

Нач. отд	Козеева		
Гл. спец.	Афонин		
Инж.	Лубкова		
Н. контр.	Антипина		

ПС-249-01

Вл. 33681 л. 17

Основные показатели труб с изоляцией из пенополиуретана в полиэтиленовой оболочке Ду=50÷1000 мм

Стадия	Лист	Листов
Р		

Мосинжпроект ОНСК

№ п/п	Способ компенсации температурных перемещений	Указания по применению при бесканальной прокладке	Указания по применению при канальной прокладке	Рекомендуемая область применения
1	За счет применения осевых компенсирующих устройств:			
	1.1. Сильфонных компенсаторов	+	+	-для прямых участков теплопроводов D_y=50-400 мм, прокладываемых в стесненных условиях, исключающих устройство „П"-образных компенсаторов; -для прямых участков теплопроводов D_y=500-1000 мм.
	1.2 Сальниковых компенсаторов	+	+	-для прямых участков теплопроводов D_y=50-400 мм, прокладываемых в стесненных условиях, при отсутствии сильфонных компенсаторов; -для прямых участков теплопроводов D_y=500-1000 мм в случае отсутствия сильфонных компенсаторов
2	За счет применения гибких „П"-образных компенсаторов	+	+	-для прямых участков теплопроводов D_y=50-400 мм, в отдельных случаях до 500 мм, прокладываемых в условиях, позволяющих разместить компенсационные ниши
3	За счет применения естественной компенсации (самокомпенсации) при „Г"-образных и „Z"-образных поворотах	+	+	-для самокомпенсации должны, как правило, использоваться все „Г"-образные и „Z"-образные повороты трассы теплопроводов D_y=50-1000 мм с углом поворота до 120° включительно, в отдельных случаях до 135°.
4	За счет предварительного напряжения теплопровода с жестким закреплением концов участков на неподвижных опорах (жесткая прокладка	+	—	-для опытного строительства прямых участков подающих и обратных теплопроводов D_y=50-200 мм, прокладываемых в благоприятных грунтовых условиях при исключении врезок в период эксплуатации; -для опытного строительства обратных прямых участков теплопроводов D_y=250-500 мм, прокладываемых в благоприятных грунтовых условиях.
5	За счет предварительного напряжения теплопровода с засыпкой его грунтом в напряженном состоянии (защемленные в грунте) без устройства компенсаторов и неподвижных опор.	+	—	-для опытного строительства прямых участков обратных теплопроводов D_y=50-500 мм при прокладке в сухих грунтах, при высоте засыпки над верхом труб не менее 1,0 м и при исключении последующих разрытий в период эксплуатации и врезок.

Условные обозначения: + - применяется
— - не применяется

Нач. отд.	Козеева	
Гл. спец.	Афонин	
Вед. инж.	Савельева	
Ст. инж.	Бударина	
Н. контр.	Савельева	

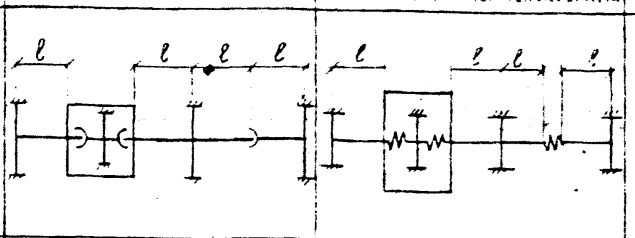
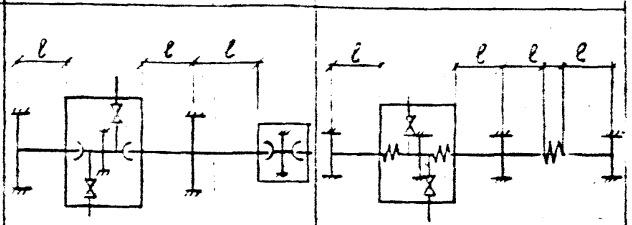
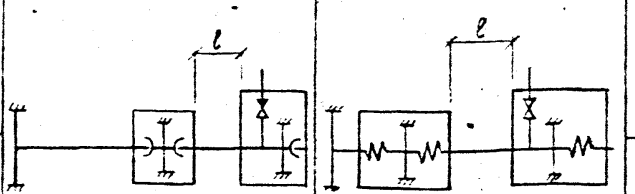
ПС-249-02 Вх. 3368/1 л. 18

Область применения способов компенсации температурных перемещений теплопроводов из труб с пенополиуретановой изоляцией

Стадия	Лист	Листов
Р		

Мосинжпроект ОНСК

Инв. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. №

Схемы узлов для участков теплопроводов		Предельные длины бесканальной прокладки ℓ, м для теплопроводов диаметром D_y, мм														
с сальниковыми компенсаторами	с сильфонными компенсаторами	50	70	80	100	125	150	200	250	300	400	500	600	700	800	900	1000
Простая схема		20 / —	20 / —	20 / —	25 / —	30 / —	35 / —	50 / —	60 / —	70 / —	70 / —	80 / 100	80 / 100	80 / 100	100 / 110	100 / 120	120 / 130
Схема с боковыми усилиями на коротком плече																	
Схемы с боковыми усилиями на длинном плече. $\sigma_{из} = 200$ кгс/см²		12 / —	12 / —	12 / —	12 / —	20 / —	25 / —	40 / —	50 / —	60 / —	60 / —	70 / 80	70 / 80	70 / 80	75 / 85	75 / 85	80 / 90
$\sigma_{из} = 500$ кгс/см²		15 / —	15 / —	15 / —	15 / —	17 / —	20 / —	30 / —	45 / —	50 / —	50 / —	55 / 65	55 / 65	55 / 65	55 / 65	55 / 65	60 / 70

В числителе приведены предельные длины бесканальной прокладки для труб из углеродистых сталей, в знаменателе – для труб из низколегированных сталей.

Условные обозначения

– неподвижная опора теплопровода; – сальниковый компенсатор;

– сильфонный компенсатор; — – не применяется;

Нач. отд.	Козеева	
Гл. спец.	Афонин	
Вед. инж.	Савельева	
Ст. инж.	Бударина	
Н. контр.	Савельева	

ПС-249-03

Вх. 33681 п. 19

Предельные длины бесканальной прокладки теплопроводов из труб, изолированных пенополиуретаном, с применением осевых (сильфонных и сальниковых) компенсаторов

Стадия	Лист	Листов
Р		

Мосинжпроект
ОНСК

Инв. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. №

Компенсационные схемы	Предельные длины бесканальной прокладки L, м для теплопроводов Ду, мм															
	50	70	80	100	125	150	200	250	300	400	500	600	700	800	900	1000
I Простые схемы	25	25	25	30	35	40	60	70	80	90	90 100	—	—	—	—	—
	20	20	20	25	30	35	50	60	70	70	80 100	80 100	80 100	100 110	100 120	120 130
	15	15	15	20	25	30	45	50	55	55	65 75	65 75	65 75	70 80	70 80	70 80
II Схемы с боковыми ответвлениями: $\sigma_{из.}$ = 500 кгс/см²	—	—	—	—	—	25	40	45	50	50	50 60	—	—	—	—	—
$\sigma_{из.}$ = 200 кгс/см²	—	—	—	—	—	35	50	60	70	70	70 80	—	—	—	—	—
$\sigma_{из.}$ = 500 кгс/см²	—	—	—	—	—	20	30	35	40	40	40 45	45 50	45 50	50 55	50 55	55 60
$\sigma_{из.}$ = 200 кгс/см²	20	20	20	25	30	35	40	50	50	55	55 60	60 65	60 65	65 70	65 70	65 70
$\sigma_{из.}$ = 500 кгс/см²	—	—	—	—	—	20	30	35	40	40	40 —	45 —	45 50	50 55	50 55	55 60
$\sigma_{из.}$ = 200 кгс/см²	20	20	20	25	30	35	40	50	50	55	55 60	60 65	60 65	65 70	65 70	65 70
$\sigma_{из.}$ = 500 кгс/см²	—	—	—	—	—	20	30	30	35	35	40 45	45 50	45 50	45 50	50 55	50 55
$\sigma_{из.}$ = 200 кгс/см²	—	—	—	—	—	25	35	35	40	40	45 50	50 55	50 55	50 55	55 60	55 60

В числителе приведены предельные длины бесканальной прокладки для труб из углеродистых сталей, в знаменателе – для труб из низколегированных сталей.

Условные обозначения:

⊥ – неподвижная опора теплопровода;

— – не применяется;

Нач. отд.	Козеева	
Гл. спец.	Фомин	
Вед. инж.	Савельева	
Ст. инж.	Бударина	
Н. контр.	Савельева	

ПС-238-04

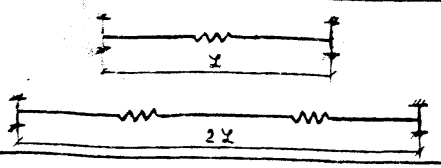
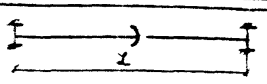
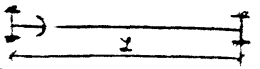
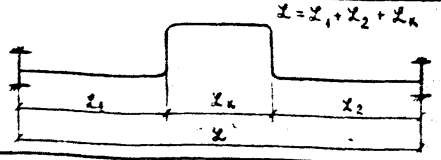
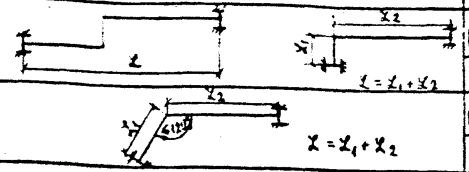
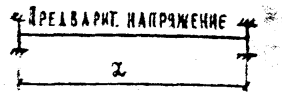
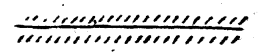
Вх. 33681 от 20

Предельные длины бесканальной прокладки теплопроводов из труб, изолированных пенополиуретаном, с применением гибких (П-образных) компенсаторов и использованием естеств. компенсации при поворотах трассы

Стадия	Лист	Листов
Р		

Мосинжпроект
Омск

Инв.№ подл. | Подпись и дата | Взам. инв. №

№ п/п	Способ компенсации температурных перемещений	Эскиз схемы компенсации	Способ прокладки теплопроводов	Предельные расстояния между неподвижными опорами L, м для теплопроводов диаметром D_y, мм: 50	70	80	100	125	150	200	250	300	400	500	600	700	800	900	1000
1	За счет применения сильфонных компенсаторов		Бесканальная	40	40	40	50	60	70	80	100	100	140	140	160	160	160	160	160
			В каналах	50	50	50	70	70	80	90	100	100	140	140	160	160	160	160	160
2	За счет применения сальниковых компенсаторов		Бесканальная	—	—	—	50	60	70	100	120	140	140	160	160	160	200	200	240
			В каналах	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			Бесканальная	—	—	—	25	30	35	50	60	70	70	80	80	80	100	100	120
			В каналах	—	—	—	70	70	80	90	100	100	140	140	160	160	160	160	160
3	За счет применения гибких (П-образных) компенсаторов		Бесканальная	45	45	45	55	65	75	105	105	120	140	160	—	—	—	—	—
			В каналах	60	70	80	80	90	100	120	120	140	160	180	—	—	—	—	—
4	За счет самокомпенсации (естественной компенсации) на поворотах трассы		Бесканальная	35	35	35	45	55	60	80	95	95	110	130	130	130	130	130	130
			В каналах	45	45	60	60	70	75	95	120	120	135	150	150	150	150	150	150
			Бесканальная	30	30	30	35	40	45	60	70	70	80	95	95	95	95	95	95
			В каналах	35	35	35	45	55	60	80	95	95	110	130	130	130	130	130	130
5	За счет предварительного напряжения с закреплением на опорах (жесткая прокладка)		Бесканальная	60	70	80	80	100	125	125	150	150	180	180	200	—	—	—	—
			В каналах	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	За счет предварительного напряжения с защемлением в грунте		Бесканальная	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			В каналах	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Расстояния между неподвижными опорами по п.п. 1 и 2 должны уточняться в зависимости от компенсирующей способности применяемых компенсаторов

Условные обозначения:

— — не применяется

— неподвижная опора теплопроводов

— сильфонный компенсатор

— сальниковый компенсатор

Нач. отд.	Козеева	
Гл. спец.	Афонин	
Вед. инж.	Савельева	
Ст. инж.	Бударина	
Н. контр.	Савельева	

ПС-249-05

Ал. 33681 л. 21

Предельные расстояния между неподвижными опорами

Стадия	Лист	Листов
Р		

Мосинжпроект ОНСК

Инв. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. №

Усилия в компенсаторах

Диаметр условного прохода трубы $Д_у$, мм	50	70	80	100	125	150	200	250	300	400	500	600	700	800	900	1000
Неуравн. силы внутр. давления $P_{вд}$, тс	—	—	—	1,3	2,0	3,0	5,7	8,9	12,8	22,0	34,0	49,0	64,0	83,0	105,0	129,0
Силы трения в сальн. компенсат. P_c, тс	—	—	—	1,0	1,1	2,0	4,1	5,1	6,2	8,2	11,0	13,1	15,0	17,1	19,3	21,2
Жесткость в сильфонных компенсат., тс	0,2	0,2	0,2	0,9	1,0	1,1	2,3	0,8	0,8	1,0	2,3	3,7	4,3	4,1	4,8	6,2
Распорные усилия в сильфон. компенсат., тс	1,5	1,5	1,5	2,1	3,2	4,5	8,1	10,1	16,9	24,6	37,9	53,4	70,0	90,7	112,3	138,5

Диаметр условного прохода трубы $Д_у$, мм	Масса 1 м трубы с водой, кг	Величина сил трения на 1 м трубопровода, тс/м			Усилия от компенсации тепловых перемещений труб при нагреве на 1°С, тс (А)
		Трубы о грунт при бесканальной прокладки	на участках канальной прокладки		
			на скользящих опорах	на песчан. подушке	
50	8,5	0,16	0,0026	0,0043	0,14
70	12,3	0,19	0,0037	0,0062	0,19
80	15,4	0,22	0,0046	0,0077	0,23
100	22,1	0,24	0,0066	0,011	0,31
125	29,7	0,27	0,0089	0,015	0,39
150	40,6	0,30	0,012	0,020	0,52
200	73,6	0,38	0,022	0,037	0,96
250	112,4	0,48	0,034	0,056	1,40
300	147,8	0,54	0,044	0,074	1,68
400	231,0	0,67	0,069	0,11	2,21
500	341,0	0,85	0,10	0,17	2,76
600	476,0	0,96	0,14	0,23	3,74
700	591,2	1,08	0,16	0,30	4,30
800	762,0	1,20	0,23	0,38	5,50
900	949,2	1,32	0,28	0,47	6,86
1000	1160,0	1,44	0,35	0,58	8,38

1. Усилия в сильфонных компенсаторах приведены по данным ТЗ 3-120-81, ТУ5.551-19729-88 для рабочего давления теплоносителя $P_{раб}$ = 1,6 МПа (16 кгс/см²) и компенсирующие способности компенсаторов для $Д_у$=80 мм - 25 мм; $Д_у$=100÷200 мм - 50 мм; $Д_у$=250÷600 мм - 90 мм; $Д_у$=700, 800 мм - 80 мм; $Д_у$=900, 1000 мм - 85 мм.

2. Неуравновешенные силы внутреннего давления и силы трения в сальниковых компенсаторах даны для рабочего давления теплоносителя $P_{раб}$ = 1,6 МПа (16 кгс/см²).

3. Силы трения труб о грунт на участках бесканальной прокладки определены для условий прокладки теплопроводов в средних грунтах с удельным весом 1,8 тс/м³ при высоте засыпки над верхом труб 0,7 ÷ 1,5 м. При прокладке теплопроводов при больших засыпках ($H_з$) над верхом труб или в грунтах с удельным весом $\gamma > 1,8$ тс/м³ силы трения допускается определять путем умножения сил трения на коэффициенты $K_1 = \frac{H_з}{1,5}$ и $K_2 = \frac{\gamma}{1,8}$.

4. Силы трения трубопровода по грунту и на скользящих опорах на участках канальной прокладки определены с учетом коэффициентов трения соответственно 0,5 и 0,3.

Направление сил трения принимается обратным направлению теплового перемещения.

5. Жесткость и распорные усилия сильфонных компенсаторов для $Д_у$=50,70 мм приняты условны по результатам расчета $Д_у$=80 мм.

Нач. отд.	Козеева		
Гл. спец.	Афонин		
Вед. инж.	Савельева		
Ст. инж.	Бударина		
Н. контр.	Савельева		

ПС-249-06 Вх. 33681-22

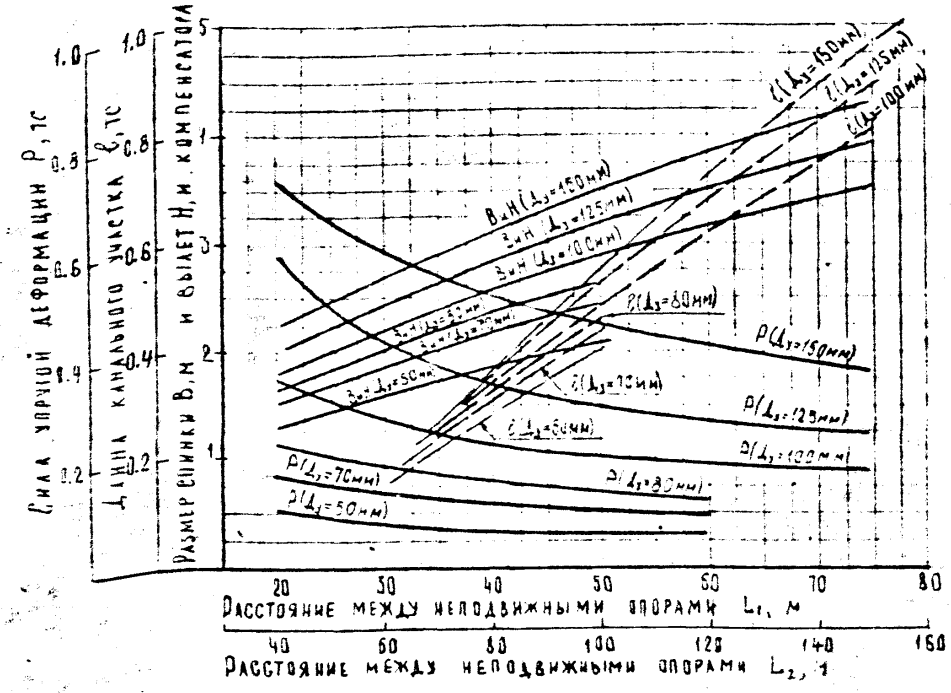
Показатели для определения усилий на неподвижные опоры силы трения, внутреннего давления и тепловых перемещений

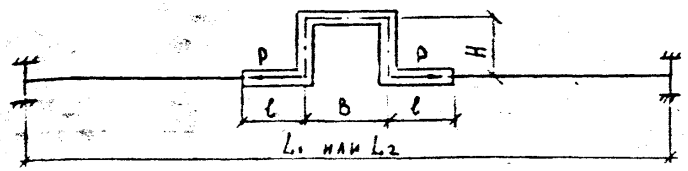
Стадия	Лист	Листов
Р		

Мосинжпроект ОНСК

Инв. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. №

Номограмма № 1
для $\Delta_3 = 50 \div 150$ мм





L_1 – расстояние между неподвижными опорами (без предварительной растяжки компенсатора)

L_2 – " " (с предварительной растяжкой компенсатора на 50%)

Номограммы построены для двух случаев.

а) без предварительной растяжки компенсаторов,

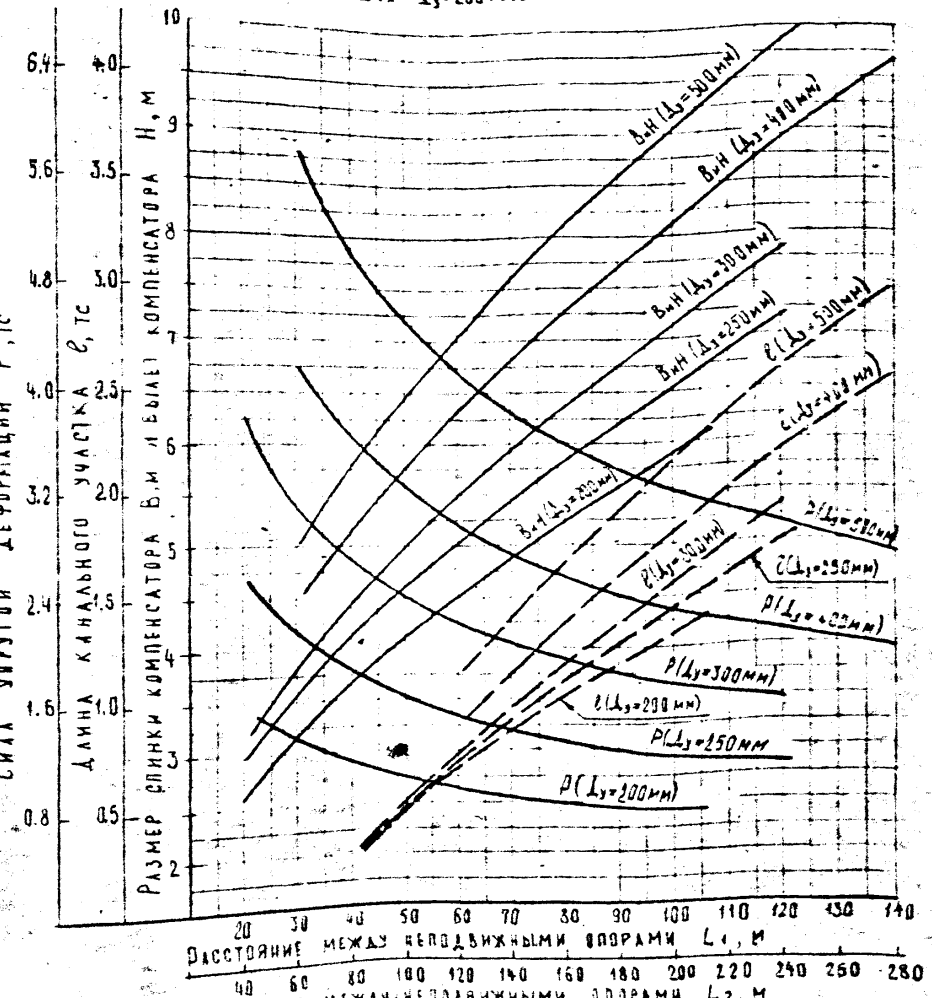
б) с предварительной растяжкой компенсаторов на 50% расчетного теплового удлинения;

Сила упругой деформации определены без учета гибкости отводов при величине изгибающего компенсационного напряжения $\sigma_{из} = 1000$ кгс/см²

Направление сил упругой деформации на схеме показано для случая тепловых перемещений труб при нагреве

Правила пользования номограммами даны в пояснительной записке

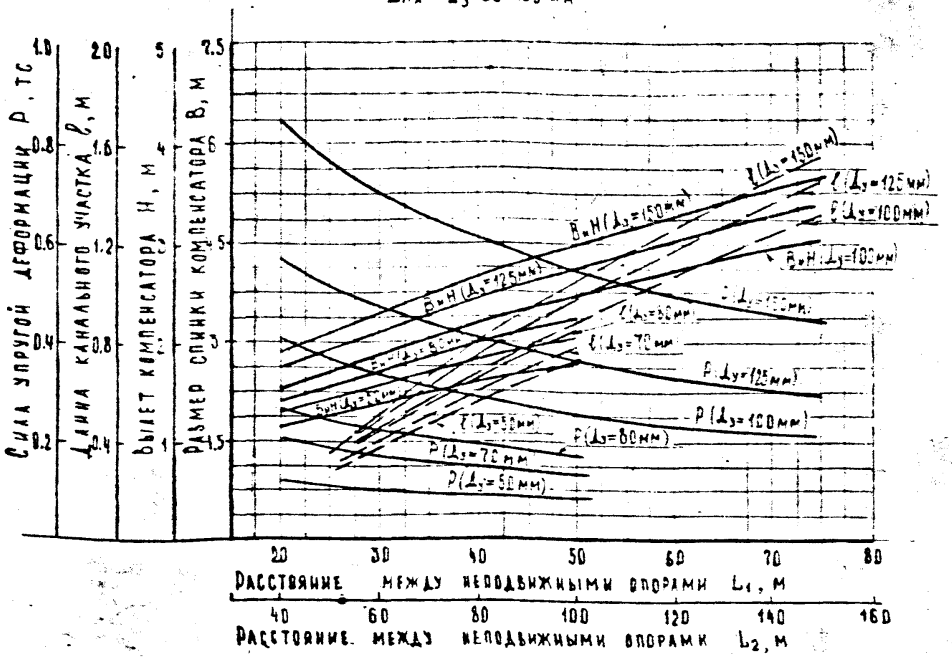
Номограмма № 2
для $\Delta_3 = 200 \div 500$ мм

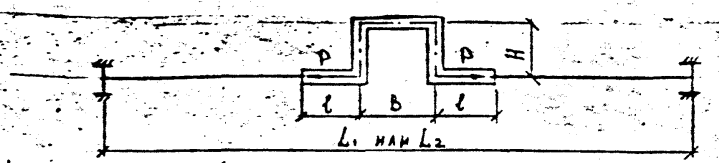


Инв.№ подл.	Подпись и дата	Взам.инв.№	

Нач. отд.	Козеева		ПС-249-07 Вх. 33681 л.23
Гл. спец.	Афонин		Номограммы для расчета П-образных компенсаторов при B=H
Вед. инж.	Павельева		Стадия: — Лист: — Листов: —
Ст. инж.	Бударина		Мосинжпроект ОНСК
Н. контр.	Павельева		

Номограмма N 3
для Δy=50÷150 мм





L_1 – расстояние между неподвижными опорами (без предварительной растяжки компенсатора)

L_2 – " " (с предварительной растяжкой компенсатора на 50%)

Номограммы построены для двух случаев:

а) без предварительной растяжки компенсаторов;

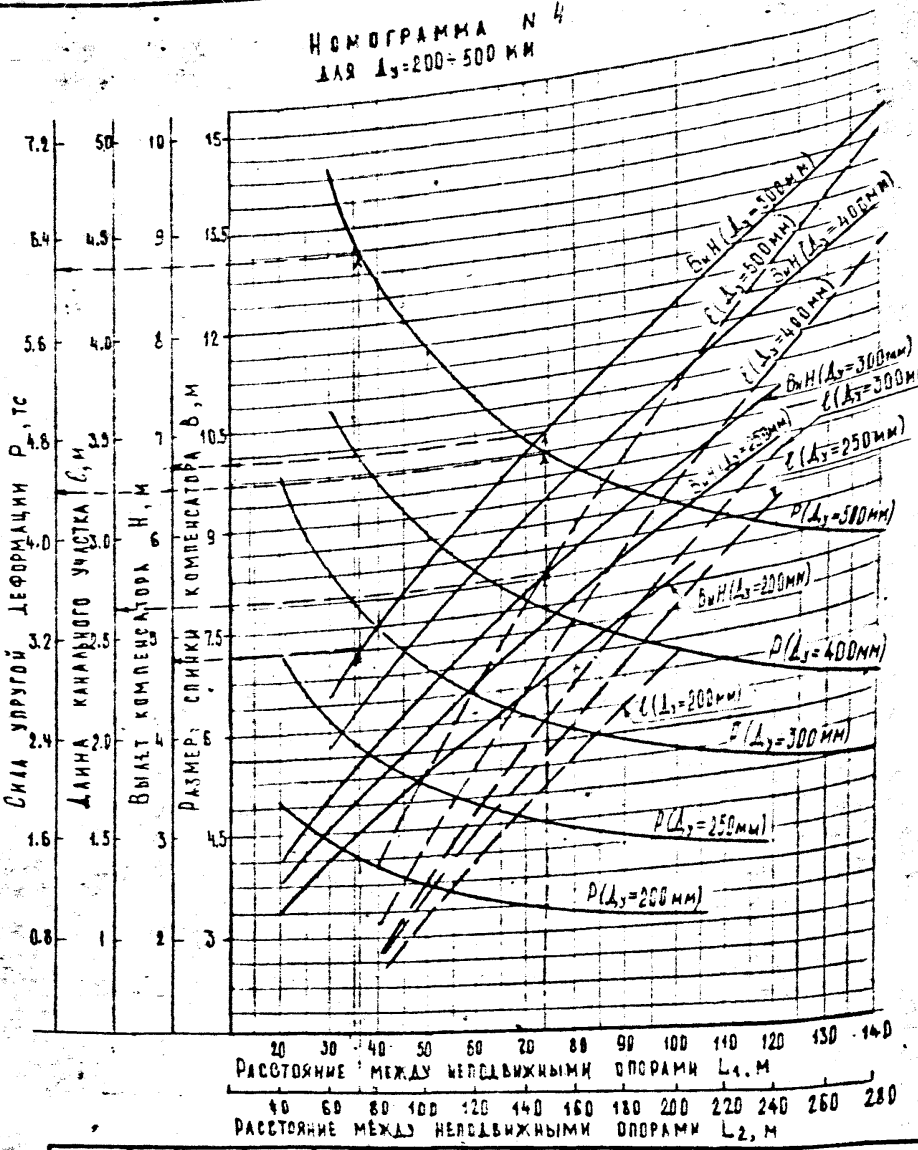
в) с предварительной растяжкой компенсаторов на 50% расчетного теплового удлинения;

Сила упругой деформации определены без учета гибкости отводов при величине изгибающего компенсационного напряжения $\sigma_{изг}$ = 1000 кгс/см².

Направление сил упругой деформации на схеме показано для случая тепловых перемещений труб при нагреве.

Правила пользования номограммами даны в пояснительной записке.

Номограмма N 4
для Δy=200÷500 мм



Нач. отд.	Козеева		
Гл. спец.	Афонин		
Вед. инж.	Савельева		
Ст. инж.	Бударина		
Н. контр.	Савельева		

ПС-249-08

Вх. 33681 л.24

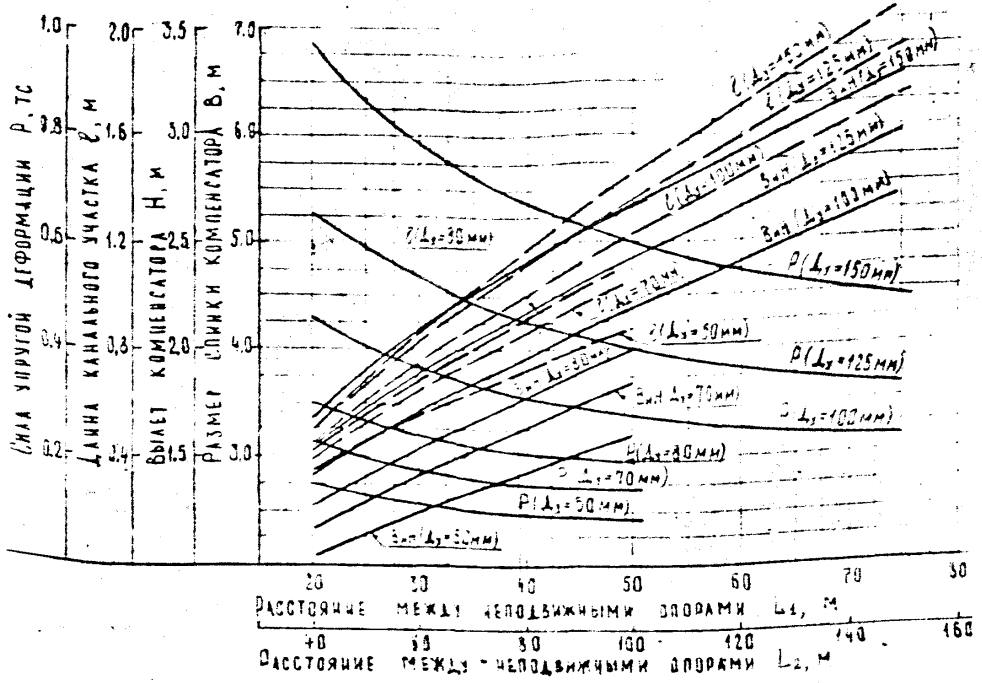
Номограммы для расчета П-образных компенсаторов при B=1,5H

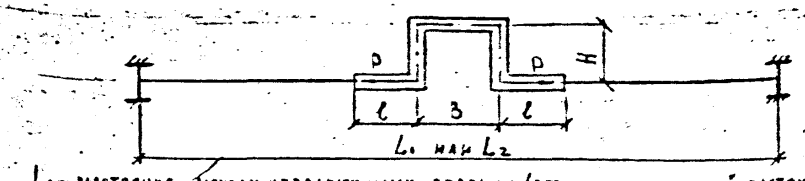
Стадия	Лист	Листов

Мосинжпроект ОНСК

Инв.№ подл. | Подпись и дата | Взам. инв. №

Номограмма № 5
для Δ_y=50÷150 мм





L_1 – расстояние между неподвижными опорами (без предварительной растяжки компенсатора)

L_2 – " " (с предварительной растяжкой компенсатора на 50%)

Номограммы построены для двух случаев:

а) без предварительной растяжки компенсаторов;

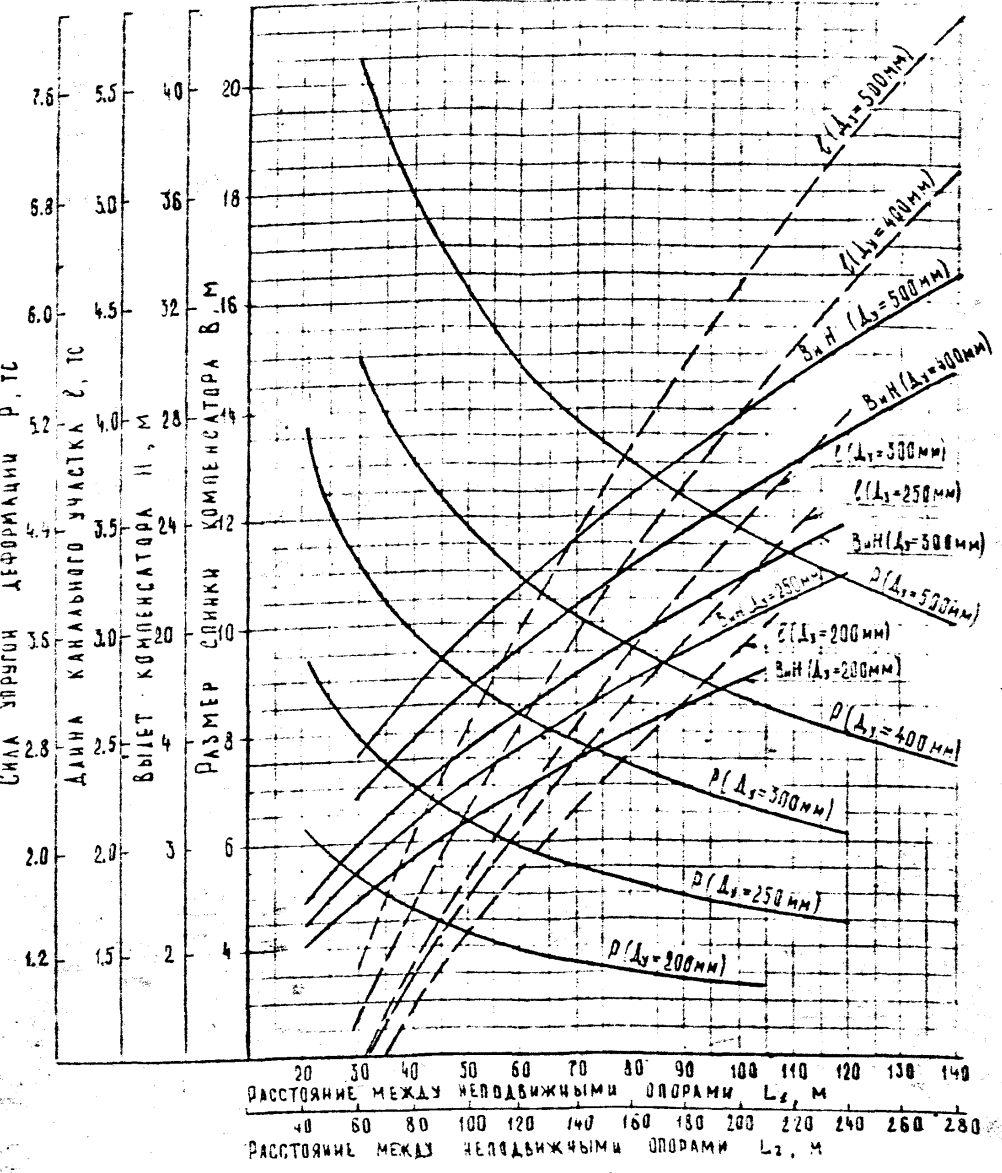
б) с предварительной растяжкой компенсаторов на 50% расчетного теплового удлинения;

Сила упругой деформации определена без учета гибкости отводов при величине изгибающего компенсационного напряжения $\sigma_{изг}$ = 1000 кгс/см².

Направление сил упругой деформации на схеме показано для случая тепловых перемещений труб при нагреве.

Правила пользования номограммами даны в пояснительной записке.

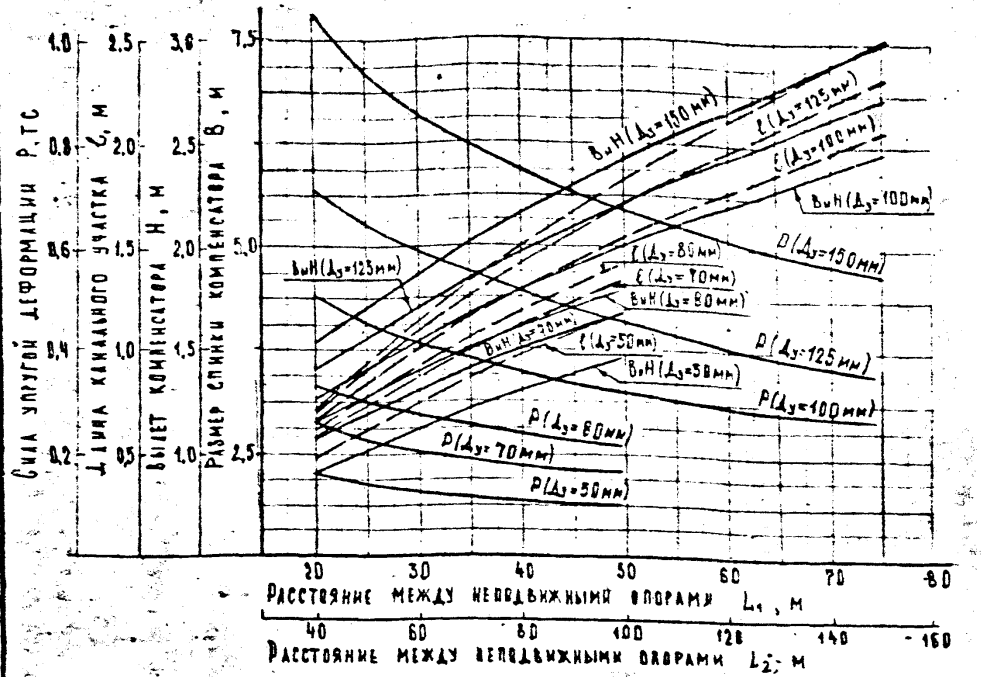
Номограмма № 6
для Δ_y=200÷500 мм

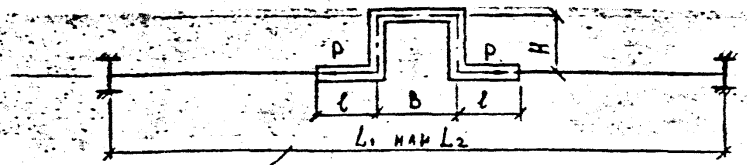


				ПС-249-09 Вх. 33681 л.25	
Нач. отд.	Колеева				
Гл. спец.	Афонин				
Нач. сект.	Савельева			Номограммы для расчета П-образных компенсаторов при B=2H	Стадия: Р; Лист; Листов
Ст. инж.	Бударина				
Н. контр.	Савельева				Мосинжпроект ОНСК

Инв.№ подл. | Подпись и дата | Взам. инв. №

Номограмма N 7
для $Д_у$=50÷150 мм





L_1 – расстояние между неподвижными опорами (без предварительной растяжки компенсатора)

L_2 – " " " (с предварительной растяжкой компенсатора на 50%)

Номограммы построены для двух случаев:

а) без предварительной растяжки компенсаторов;

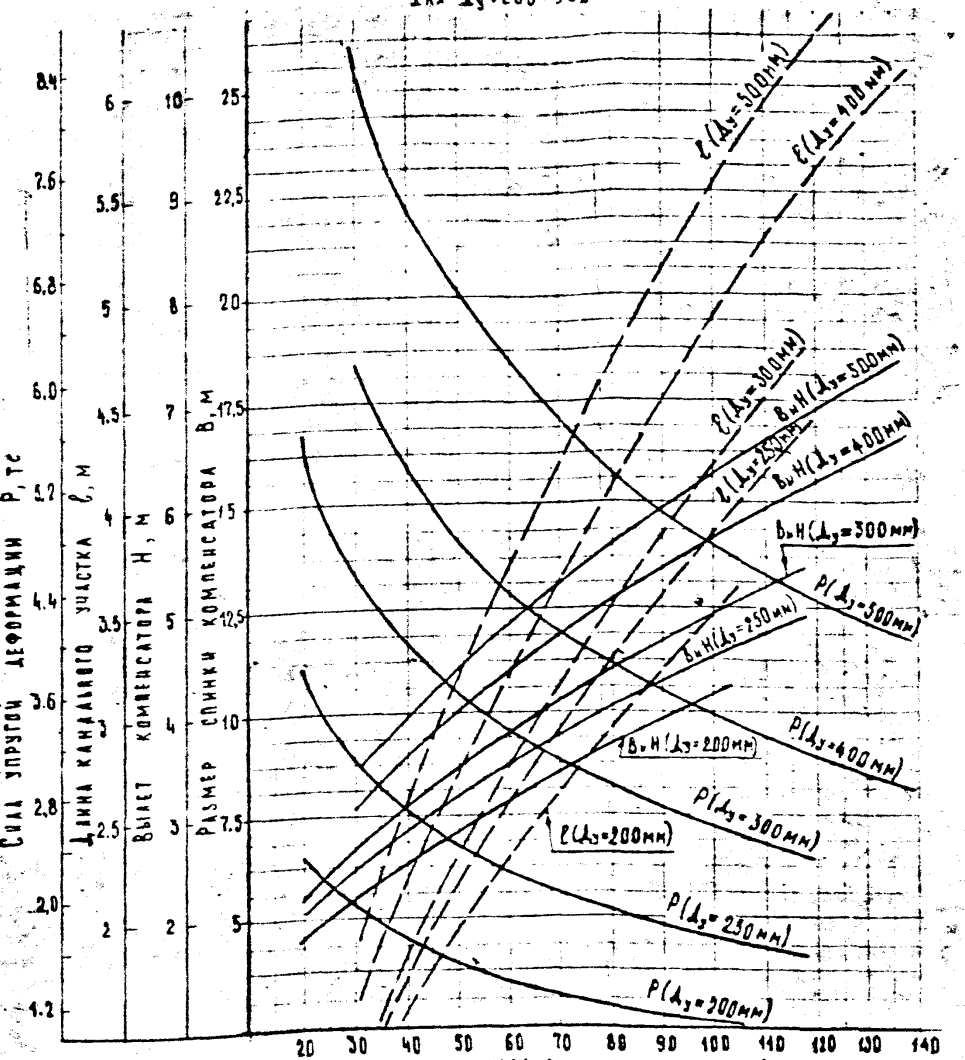
б) с предварительной растяжкой компенсаторов на 50% расчетного теплового удлинения;

Сила упругой деформации определены без учета гибкости отводов при величине изгибающего компенсационного напряжения $\sigma_{из}$ = 1000 кгс/см².

Направление сил упругой деформации на схеме показано для случая тепловых перемещений труб при нагреве.

Правила пользования номограммами даны в пояснительной записке.

Номограмма N 8
для $Д_у$=200÷500 мм

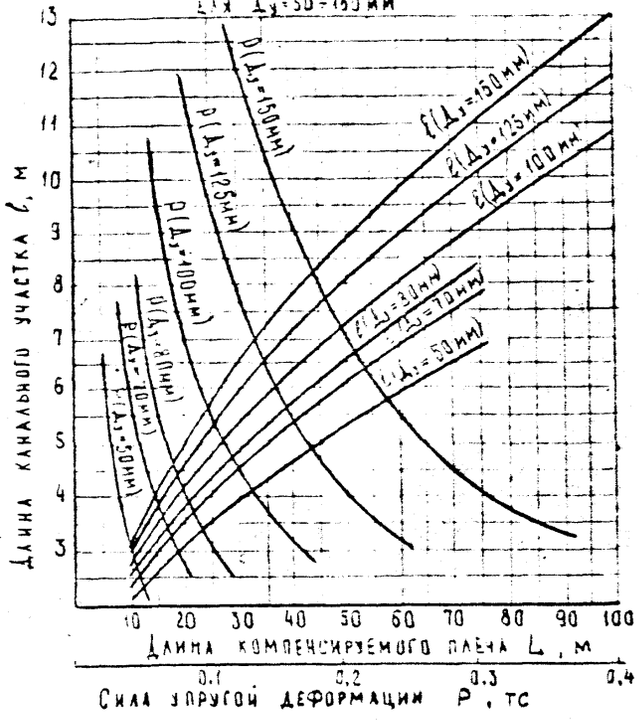


Нач. отд.	Козеева		ПС-249-10 Вх. 33681 л. 26
Гл. спец.	Афонин		
Вед. инж.	Савельева		Номограммы для расчета П-образных компенсаторов при B=2,5 H
Ст. инж.	Бударина		Стадия: Р; Лист; Листов
Н. контр.	Савельева		Мосинжпроект ОНСК

Инв. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. №

Номограмма № 9

для D_y = 50 – 150 мм



Номограмма № 10

для D_y = 200 – 1000 мм

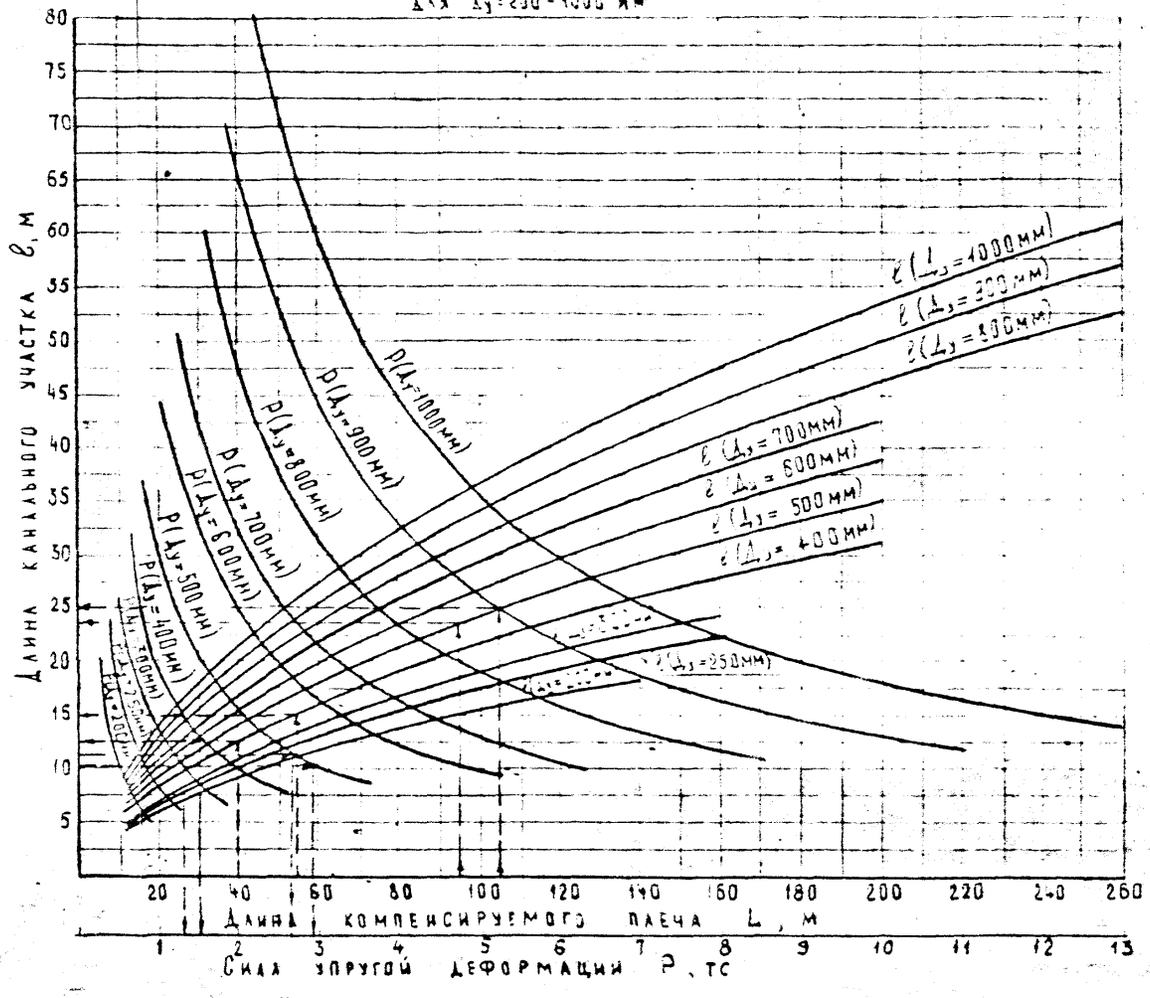
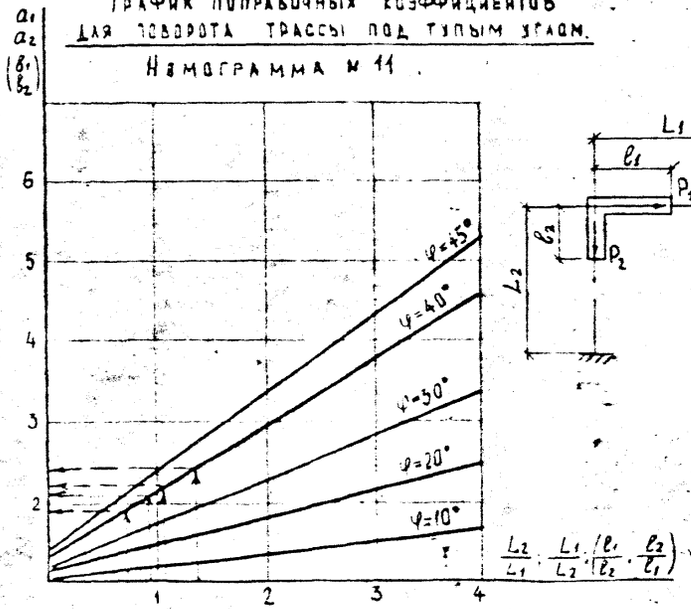


График поправочных коэффициентов для поворота трассы под тупым углом.

Номограмма № 11.



Номограммы построены для подающих труб теплопроводов с максимальной температурой теплоносителя 150° при допускаемом изгибающем компенсационном напряжении $\sigma_{изг}$ = 1000 кгс/см² без учета гибкости.

Правила пользования номограммами даны в пояснительной записке.

Нач. отд.	Козеева		
Гл. спец.	Афонин		
Вед. инж.	Савельева		
Ст. инж.	Бударина		
Н. контр.	Савельева		

ПС-249-11

Св. 33681 п. 27

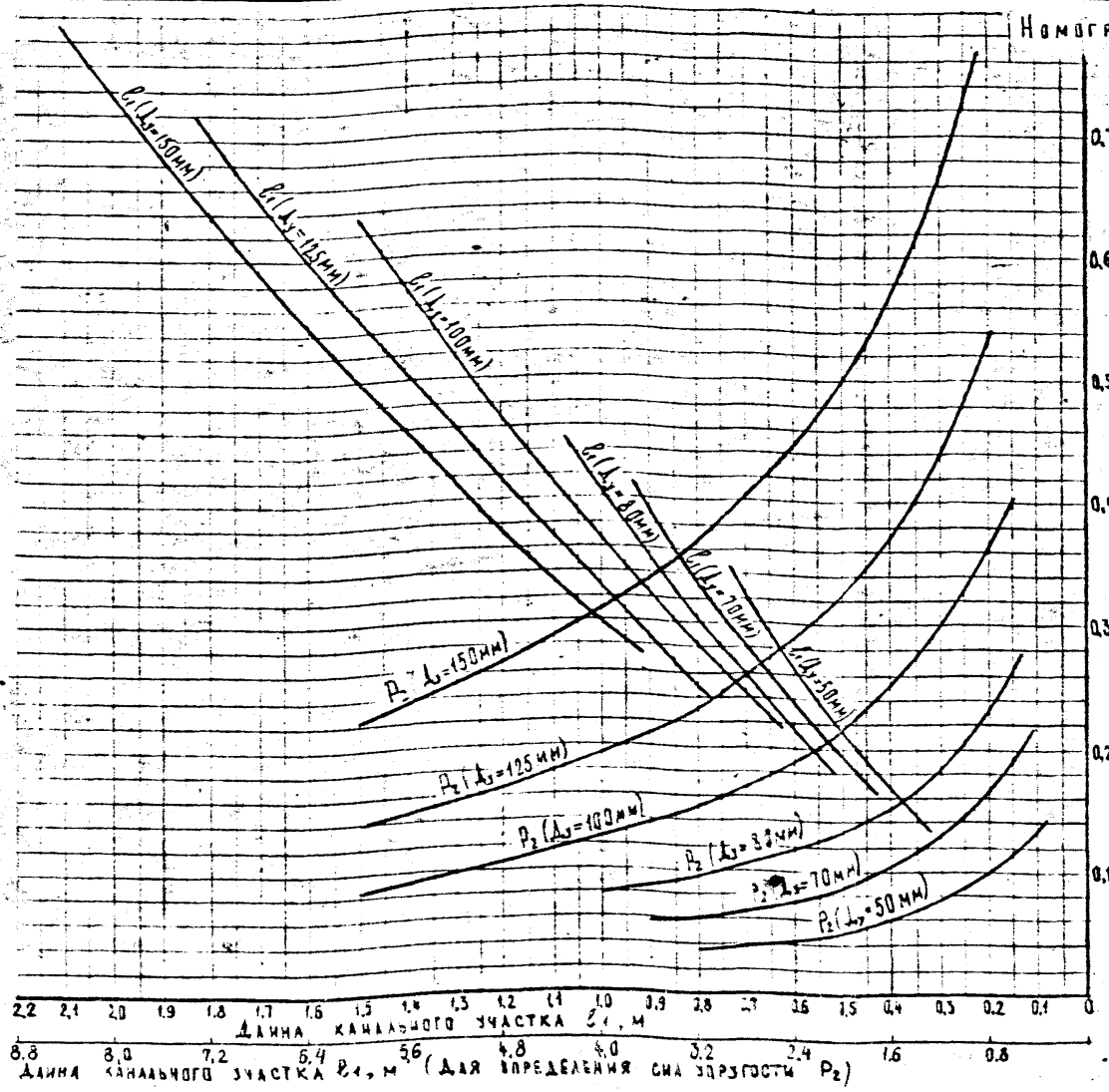
Номограммы для расчета Г-образных компенсаторов

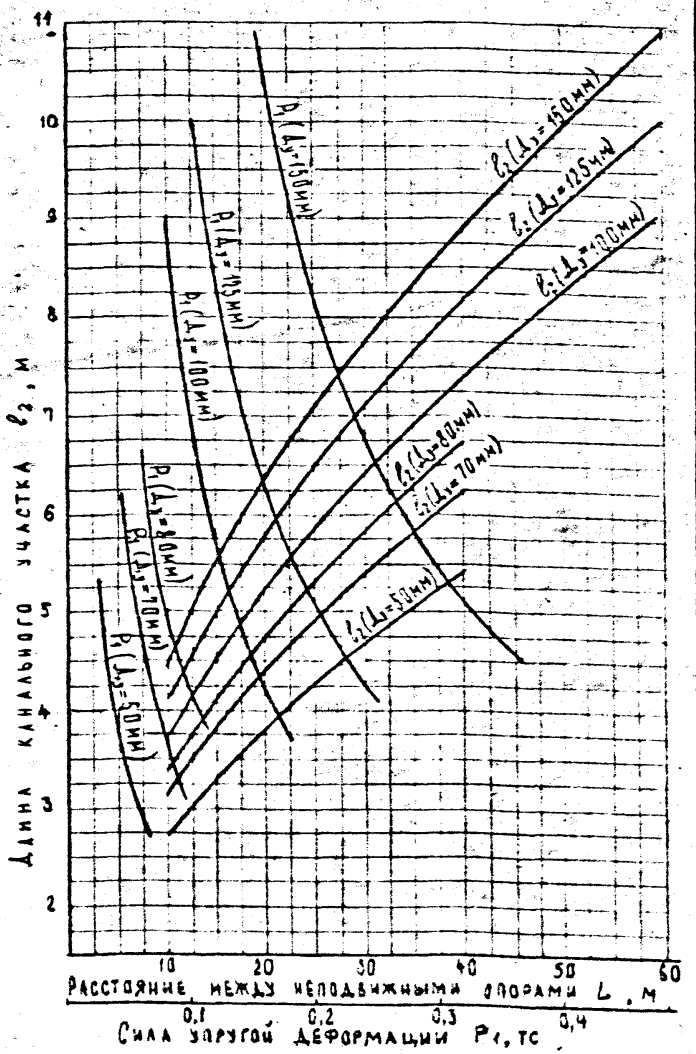
Стадия	Лист	Листов
Р		

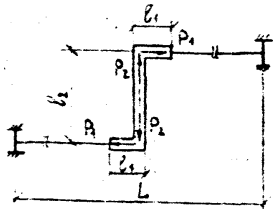
Мосинжпроект ОНСК

Инв. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. №

Номограмма № 12







Номограммы построены для подающих труб тепловодов с максимальной температурой теплоносителя 150° при допускаемом изгибающем компенсационном напряжении $\sigma_{изг}$ = 1000 кгс/см² без учета гибкости отводов.

Правила пользования номограммами даны в пояснительной записке

Нач. отд.	Козеева		
Гл. спец.	Афонин		
Вед. инж.	Савельева		
Ст. инж.	Бударина		
Н. контр.	Савельева		

ПС-249-12 Вх. 33681 л. 28

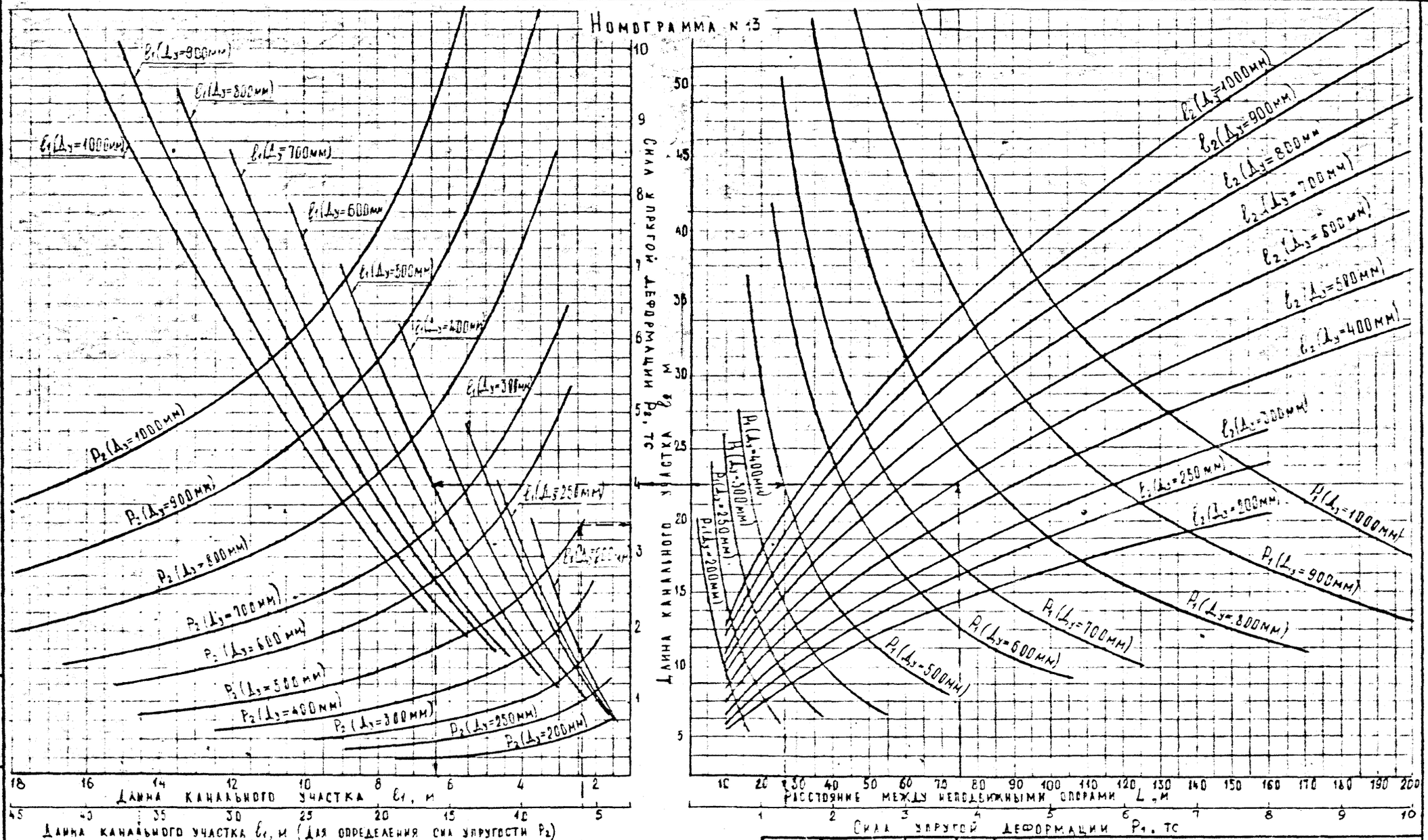
Номограммы для расчета тепловодов с Z-образными поворотами для $D_э$ = 50÷150 мм

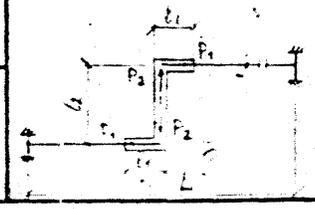
Стадия	Лист	Листов
Р		

Мосинжпроект ОНСК

Инв. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. №

Номограмма № 13





Номограммы построенны для подающих труб теплопроводов с максимальной температурой теплоносителя 150° при допускаемом изгибающем компенсационном напряжении $\sigma_{ик}=1000$ кгс/см² без учета гибкости отводов.

Правила пользования номограммами даны в пояснительной записке.

Нач. отд.	Козеева		
Гл. спец.	Афонин		
Вед. инж.	Савельева		
Стр. инж.	Бударина		
Н. контр.	Савельева		

ПС-249-13

Вх 33681 л. 29

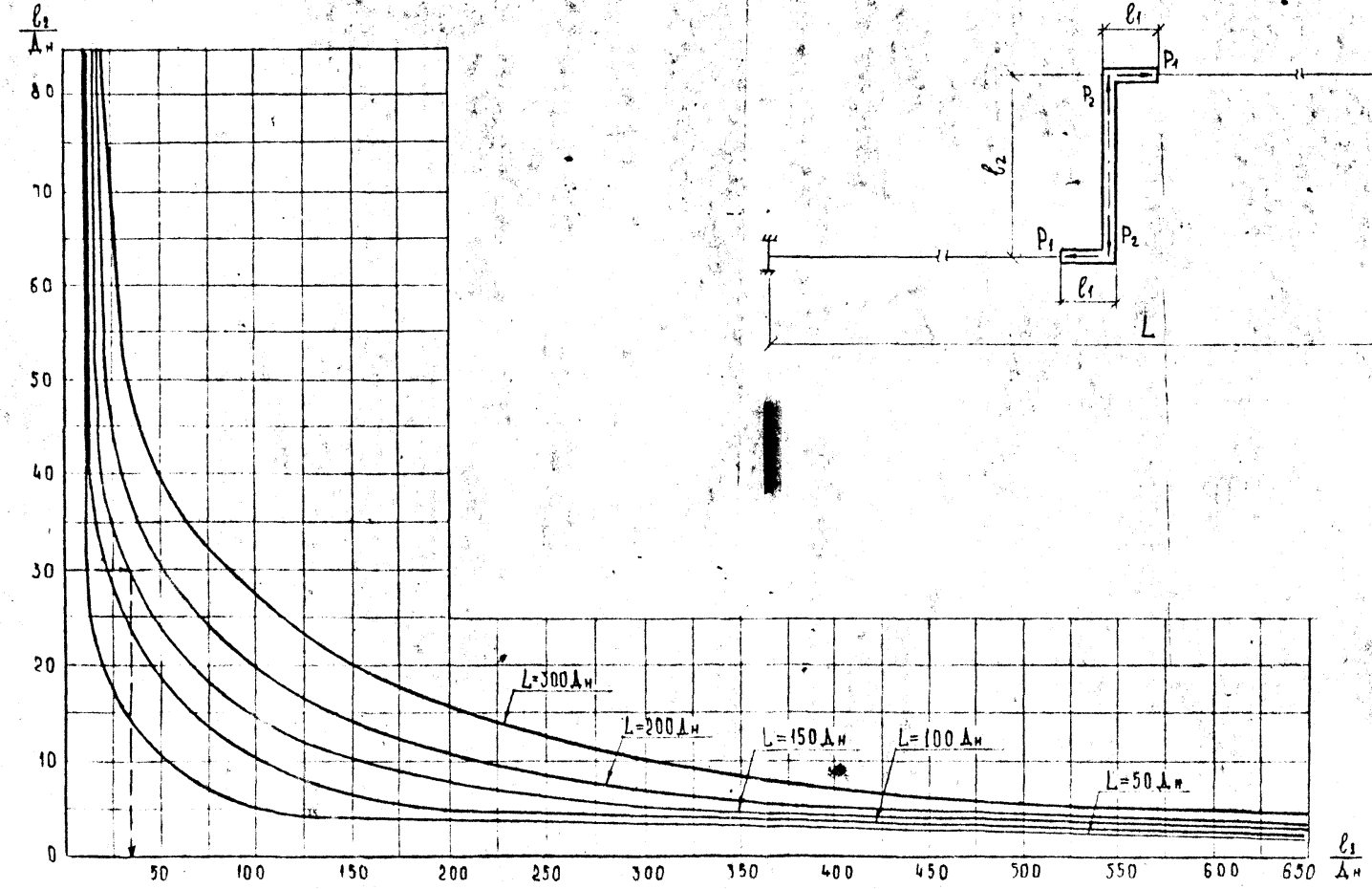
Номограмма для расчета теплопроводов с Z-образными поворотами для $Д_у=200\div1000$ мм

Стадия	Лист	Листов
Р		

Мосинжпроект ОНСК

Инв. № подл. | Подпись и дата | Взам. инв. №

Номограмма N 14



Нач. отд.	Козеева		
Гл. спец.	Афонин		
Вед. инж.	Савельева		
Ст. инж.	Бударина		
Н. контр.	Савельева		

ПС-249-14

Вх. 33681 л. 30/30

Номограмма для расчета теплопроводов с 2 образными поворотами при сокращенной длине вылета

Стадия	Лист	Листов
Р		

Мосинжпроект ОНСК

Инв. № | Подпись и дата | Взам. инв. №

gost.e-ecolog.ru