

**РУКОВОДСТВО К ПРОЕКТИРОВАНИЮ
СТАЛЬНЫХ ТРУБ И ФАСОННЫХ ИЗДЕЛИЙ С
ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ
ПЕНОПОЛИУРЕТАНА В ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКЕ
(ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНА/ТОНКОЛИСТОВОЙ
ОЦИНКОВАННОЙ СТАЛИ)
ISOPLUS**

Оглавление

Введение.....	3
Термины и определения	4
Общие сведения.....	5
Система «Труба в трубе».....	5
Способы укладки.....	6
Преимущества и недостатки способов укладки	7
Холодная укладка.....	8
Традиционная укладка.....	8
Допустимая длина укладки L_{max}	10
Производственное самонапряжение.....	14
Осевое растяжение	16
Предварительное термическое напряжение	28
Методы осуществления предварительного термического напряжения.....	28
Стартовый компенсатор, система стартовых компенсаторов.....	35
Предварительное напряжение полиэтиленовых матов.....	38
Поворот теплотрассы.....	39
Нестандартные отводы	40
Косой стык	40
Эластичный изгиб	41
Гнутая труба	42
Расчеты: гнутая труба и эластически изогнутая труба.....	42
Тройники.....	44
Тройниковое ответвление	45
Неподвижная опора	47
Неподвижная опора при холодной укладке.....	48
Сила трения F'_R в кН/м.....	49
Торцевая сторона бетонного блока	49
Неподвижная опора при горячей укладке	50
Длина бетонного блока	50
Вскрытие теплотрассы.....	51
Подсоединение к другим трубопроводам.....	52
Определение диаметров.....	53
Теплопотери.....	55
Теплопроводность трубы	55
Коэффициент теплопередачи	56
Теплопроводность грунта.....	57
Теплоэнергопотери	59
Надземная укладка	60
Рентабельность толщины изоляционного слоя	62
Аннуитетный фактор AF	63
Долговечность трубопровода.....	65
Проверочный расчет напряжений	66
Труба	66
ППУ-жесткая пена и труба-оболочка ПЭВП.....	67
Усталостное разрушение	69

Введение

Вашему вниманию предлагается первое издание Руководства к проектированию стальных труб и фасонных изделий с тепловой изоляцией из пенополиуретана в защитной оболочке из полиэтилена/тонколистовой оцинкованной стали. Данное издание было переведено с немецкого языка на русский. При пользовании им следует руководствоваться стандартами Республики Казахстан. Вся информация, содержащаяся в данном Руководстве, является собственностью компании Isoplus и запрещается к передаче третьим лицам без письменного согласия компании-владельца (закон об авторском праве РК).

Термины и определения

S = стандартная толщина изоляции (соответствует 1 типу изоляции по ГОСТ 30372-2006)
1 x = 1 x усиленная толщина изоляции (соответствует 2 типу изоляции по ГОСТ 30372-2006)
2 x = 2 x усиленная толщина изоляции

Все исходные данные, а также указанные в формулах значения основаны на AGFW-директива FW 401 часть 10 и действительны для оснований с удельным весом 19 кН / м³, внутренним углом трения грунта $[\varphi]$ 32,5 °, а также для черных стальных труб, материала St 37,0, WB или S (приваренные или бесшовные), № 1,0254, толщиной стенки труб согласно стр. R 2.0. Для других $\ddot{U}N F_R$ определяется при необходимости isoplus.

EN 253 – стандарт на трубы и фасонные изделия стальные с тепловой изоляцией из пенополиуретана с защитным покрытием разработан Европейским комитетом по стандартизации «Трубы централизованного теплоснабжения. Предварительно изолированные системы сборных труб для подземных сетей горячей воды. Трубы, состоящие из стальных труб, полиуретановой теплоизоляции и внешней оболочки из полиэтилена».

Общие сведения

Предварительно изолированные трубы успешно прошли проверку временем и оправдали себя на практике. Что касается экономических, экологических и технических аспектов, они пользуются преимуществом в сравнении с другими материалами.

Чтобы суметь использовать данные преимущества, необходимо детально знать функциональные характеристики подобных трубопроводов, потому как проектирование данных систем требует обширных знаний в данной области.

В связи с этим, инженерам-проектировщикам должно быть предоставлено соответствующее техническое оборудование, чтобы развивать экономически рациональные тепловые сети. В следующих разделах содержатся основы проектирования, которые, однако, не покрывают всех возможных ситуаций при осуществлении проектирования.

Для этого любая стадия устройства тепловой сети – начиная от тендера и до исполнения, документации – может обслуживаться инженерами-проектировщиками isoplus, которые готовы произвести все необходимые расчеты и предоставить информацию для решения персональных вопросов.

Экономическое положение систем теплоснабжения вызывает необходимость исследовать как пределы статических расчетов по трубам, так и частные факторы $[\gamma_m]$ используемых материалов в значительной степени.

ВНИМАНИЕ: для лучшего понимания все формулы (1) до (77) на страницах П. 2.0 до П. 14.1.1 сопровождаются примером. В данном случае: DN 150 ($d_a = 168,3$ мм; $s_1 = 4,0$ мм; $d_i = 160,3$ мм) с ППУ-изоляция и трубой-оболочкой ПЭВП ($D_a = 250,0$ мм; $s_2 = 4,2$ мм; $D_i = 241,6$ мм). В качестве стальной трубы представлена труба из черной стали (37.0), заполненная водой.

Система «Труба в трубе»

Стальная труба и труба-оболочка ПЭВП соединены между собой посредством жесткой ППУ-пены и образуют единую систему. Именно в этом состоит основное отличие данной трубной системы от традиционных методов.

Эти особенности должны соблюдаться при проектировании, а также во время монтажа для обеспечения надежной работы и долгого срока службы трубопровода.



При термической обработке три компонента – стальная труба, ППУ-пена и труба-оболочка ПЭВП – растягиваются симметрично, в отличие от прочих трубных систем. Поэтому все внешние силы, такие как интенсивность движения и сила трения грунта, равно, как и трение между трубой-оболочкой и грунтом переносятся с трубы-оболочки ПЭВП через ППУ-пену на стальную трубу.

Благодаря взаимодействию внешних, а также внутренних сил, вызванных тепловым расширением, возникает ряд напряжений, которые должны быть поглощены данной системой.

Данный фактор является причиной определения предельных значений, которые необходимо учитывать при проектировании и монтаже. Трубные системы isoplus могут использоваться при максимальной температуре 155°С. По желанию можно запросить подтверждающий документ от лаборатории по испытанию материалов.

При температурах, превышающих 130° С необходимо произвести детальные статические расчеты (расчеты трубопровода на прочность), так как высокие температуры вызывают чрезмерную деформацию. Перед началом такой укладки необходимо точно проверить нагрузочный профиль, так как допустимые параметры материалов могут достигать предельно допустимых границ.

Способы укладки

Говоря о методах укладки, принято различать холодную и горячую укладку. Данные группы будут охарактеризованы пятью различными способами укладки. В соответствии с местными требованиями или ограничениями, которые проектируются и закладываются для теплотрассы, существует пять способов укладки:

ХОЛОДНАЯ УКЛАДКА

^ Холодная укладка >> П 2.0

Без ограничения допустимой длины укладки, но с ограничением максимальной температуры 85° С

^ Традиционная укладка >> П 2.1

С ограничением допустимой длины укладки и максимальной температуры 155° С

^ Производственное самонапряжение >> П 2.3

Без ограничения допустимой длины укладки, но с ограничением максимальной температуры 130° С

ГОРЯЧАЯ УКЛАДКА

^ Термический предварительный нагрев >> П 4.0

Без ограничения допустимой длины укладки, но с предварительным напряжением в не заполненном котловане и с ограничением максимальной температуры 155° С
(температура предварительного нагрева = половина рабочей температуры)

^ Система стартовых компенсаторов >> П 4.4

Без ограничения допустимой длины укладки, но с предварительным напряжением в заполненном котловане и с ограничением максимальной температуры 140° С
(температура предварительного нагрева - минимум 80° С)

Преимущества и недостатки способов укладки

Техника укладки		Преимущества	Недостатки
ХОЛОДНАЯ УКЛАДКА	Холодная укладка	Незначительное осевое напряжение при тепловом расширении Траншея для укладки трубопровода может сразу быть засыпана	Максимально допустимая рабочая температура - $< 85^{\circ} \text{C}$
	Традиционная укладка	Максимально допустимое осевое напряжение не будет превышено Траншея для укладки трубопровода может сразу быть засыпана	Максимально допустимая длина укладки проектируется за счет углов (Г, Z, П-образные)
	Производственное самонапряжение	Траншея для укладки трубопровода может сразу быть засыпана Экономия углов поворота	Очень большие осевые сдвиги при растяжении Опасность потери продольной устойчивости Осевое напряжение выходит за пределы текучести стали Последующее присоединение фасонных фланцевых деталей невозможно
ГОРЯЧАЯ УКЛАДКА	Термическое предварительное напряжение	Ограничение осевого напряжения $\approx 155 \text{ Н/мм}^2$ $\Rightarrow$ минимальный технический риск Незначительное осевое растяжение Экономия углов поворота	Траншея для укладки трубопровода должна оставаться открытой до окончания работ по предварительному напряжению В зависимости от метода, необходима специальная эксплуатационная среда или подключение к источнику питания 380 В
	Система стартовых компенсаторов	Траншея для укладки трубопровода до стартовых компенсаторов может сразу быть засыпана Экономия углов поворота	Чем выше температура, тем больше необходимость стартовых компенсаторов Смотровые каналы для компенсаторов должны оставаться открытыми до предварительного нагрева

Холодная укладка

Применение и определение

При данной технике укладки могут быть проложены прямые участки ППУ-теплотрассы без ограничений. Существуют разные трактовки понятия «холодная укладка», но зачастую это очень размытое определение. Различают три типа холодной укладки, о которых будет рассказано в порядке уровня безопасности в эксплуатации.

Холодная укладка при рабочей $T \leq 85^\circ \text{C}$

Согласно Закону Гука, связь между напряжениями $[\sigma]$ и деформациями является пропорциональной:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon [\text{Н/мм}^2] \quad (1)$$

E = Модуль упругости $[\text{Н/мм}^2]$

ε = Деформация $\Delta L/L_x$ [-]

При ППУ-теплотрассе деформация $[\varepsilon]$ достигается путем нагрева стальной трубы на ΔT , откуда следует:

$$\varepsilon = \alpha \cdot \Delta T \quad (2)$$

$$(1)(2) \Rightarrow \sigma = E \cdot \alpha \cdot \Delta T [\text{Н/мм}^2] \quad (3)$$

α = коэффициент расширения стали $[1/\text{K}]$

ΔT = разница температур $[\text{K}]$

Путем ограничения рабочей температуры до $T \leq 85^\circ \text{C}$ осевое напряжение $[\sigma]$ будет ограничено согласно AGFW FW 401 необходимого коэффициента запаса прочности $[\gamma_M]$ от Re : 1,1 (Re = предел текучести), так как разница температур $[\Delta T]$ между температурой грунта T_g и T составляет лишь 75 К. Для стальной трубы 37.0 при температуре 85°C действуют постоянные E , α и Re , представленные в п.2.1.

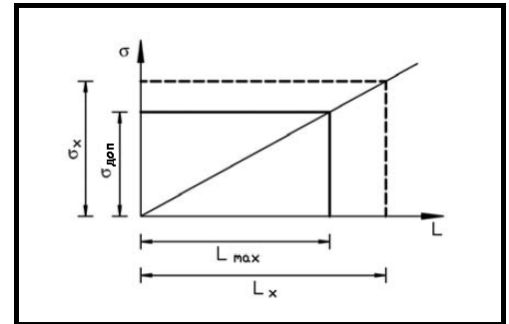
$$\sigma_{\text{доп}} = Re : \gamma_M [\text{Н/мм}^2] \quad (4)$$

$$\sigma_{\text{доп}} = 216,50 : 1,1$$

$$\text{Результат: } \sigma_{\text{доп}} = 196,8 \text{ Н/мм}^2$$

$$(3) \Rightarrow \sigma_{\text{дан}} = E \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

$$(\text{Прим. 3}) \Rightarrow \sigma_{\text{дан}} = 2,0794 \cdot 10^5 \cdot 1,24 \cdot 10^{-5} \cdot 75 \quad \text{Результат: } \sigma_{\text{дан}} = 193,4 \text{ Н/мм}^2$$



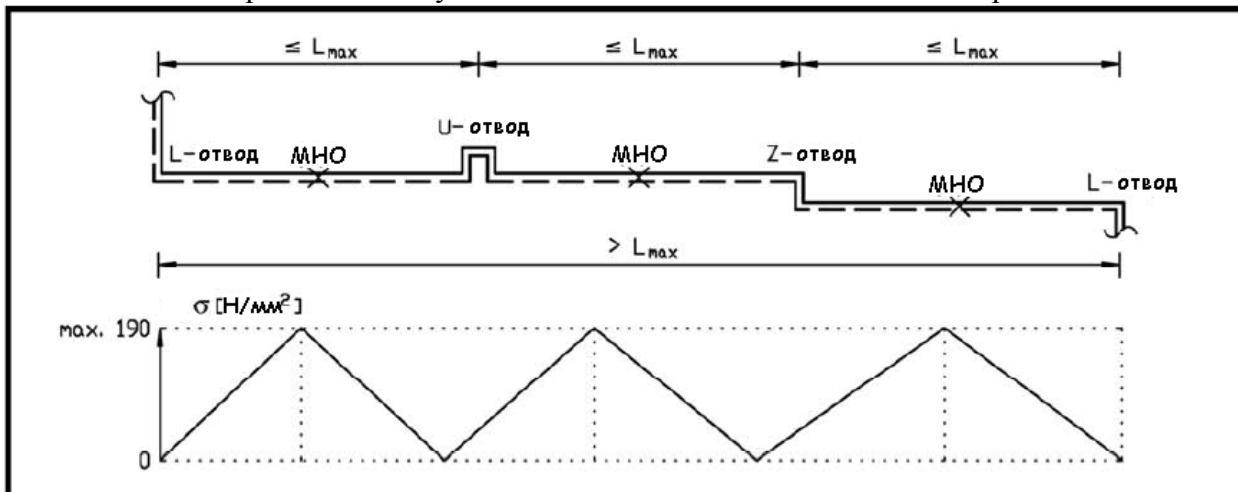
Для ППУ-теплотрасс с рабочей $T \leq 85^\circ \text{C}$ это означает, что они могут быть проложены без ограничения максимальной длины. Только встречающаяся незначительная осевая деформация может быть компенсирована полиэтиленовыми матами или отводами.



Традиционная укладка

Данная техника укладки применяется в случаях, где расположение трассы затруднено препятствиями, такими как строительство, уличные перекрестки, деревья и т.д. Единственным условием для такой укладки является соблюдение максимально допустимой длины укладки $[L_{\text{max}}]$. Максимально допустимая длина укладки зависит от глубины заложения трассы и показана в таблице П. 2.2.2. Если общая длина укладки

превышает максимально допустимую длину $L_{\max}$, то такие участки должны быть разделены на участки $\leq L_{\max}$ с помощью Z- или П-образных отводов.



Коэффициент запаса прочности, как было сказано ранее, согласно AGFW FW 401 для материала, достигает предела текучести при $T \ 120^{\circ} \text{C} \Rightarrow 1,10$. Отсюда следует, при $T \ 140^{\circ} \text{C}$, максимально допустимое осевое напряжение $[\sigma_{\text{доп}}]$ в стальной трубе $\approx 190 \text{ Н/мм}^2$. С рабочей $T > 140^{\circ} \text{C}$ осевое напряжение сокращается до $\text{max.} \leq 180 \text{ Н/мм}^2$.

Стальная труба 37.0 по DIN 1626 / 1629 $\Rightarrow$ Предел прочности при растяжении $R_m = 350 - 480 \text{ Н/мм}^2$

85°	A_T	155°	140°	130°	120°	110°	90°	50°	20°
207,94	E	202,60	203,80	204,60	205,40	206,20	207,63	210,13	212,00
1,24	α	1,28	1,27	1,26	1,26	1,25	1,24	1,21	1,19
216,50	R_e	197,50	201,00	204,00	207,00	210,00	215,00	227,00	235,00
1,10	γ_M	1,10	1,06	1,08	1,10	1,11	1,14	1,08	1,10
195,00	$\sigma_{\text{доп.}}$	180,00	190,00					210,00	

A_T = расчетная $T^{\circ}\text{C}$

R_e = допустимый предел текучести в Н/мм^2

α = коэффициент растяжения $[10^{-5}]$ в $1/\text{K}$

E = модуль упругости в кН/мм^2

Прочие материалы данные по запросу.

Допустимая длина укладки L_{max}

Сила трения $[F'_R]$ увеличивается вместе с увеличением длины укладки $[L_x]$. Сила трения препятствует деформации. Сила трения $[F'_R]$ противостоит силе растяжения $[F_D]$, являющейся постоянной по всей длине $[L_x]$. До тех пор, пока суммарная сила трения в трубе $[F_{тр\text{уб}}]$ меньше, чем сила температурного расширения $[F_T]$, данная область является областью скольжения. Когда сила трения $[F'_R]$ и сила растяжения $[F_D]$ находятся в равном отношении, возникает нулевая точка движения, т.е. неподвижная область. Сила растяжения $[F_D]$:

$$F_T = A \cdot \sigma_x \text{ [Н]} \quad (5)$$

$$F_T = 2.064,66 \cdot 101,562 \text{ [Н]} \quad (\text{Прим. 5})$$

$$\text{Результат: } F_T = 209.691,00 \text{ Н} \quad (\text{Прим. 5})$$

$$A = \text{поперечное сечение стальной трубы [мм}^2\text{]}$$

$$\sigma_x = \text{возникающее напряжение сжатия и растяжения [Н/мм}^2\text{]} \Rightarrow (8)$$

Поперечное сечение трубы $[A]$:

$$A = (d_a - s) \cdot \pi \cdot s \text{ [мм}^2\text{]} \quad (6)$$

$$A = (168,3 - 4,0) \cdot 3,1416 \cdot 4,0 \text{ [мм}^2\text{]} \quad (\text{Прим. 6})$$

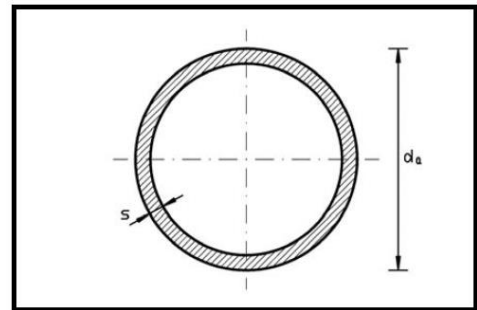
$$\text{Результат: } A = 2.064,66 \text{ мм}^2 \quad (\text{Прим. 6})$$

$$d_a = \text{наружный диаметр стальной трубы [мм]}$$

$$s = \text{толщина стенки стальной трубы [мм]}$$

$$\pi = 3,1416 \text{ [-]}$$

Так как поперечное сечение стальной трубы $[A]$ и сила трения $[F'_R]$ являются постоянными величинами (см. П. 3.0), то напряжение $[\sigma_x]$ прямо пропорционально длине трубы $[L_x]$.



$$F_{тр\text{уб}} = F'_R \cdot L_x \text{ [Н]} \quad (7)$$

$$F_{тр\text{уб}} = 4.193,82 \cdot 50 \text{ [Н]} \quad (\text{Прим. 7})$$

$$\text{Результат: } F_{тр\text{уб}} = 209.691,00 \text{ Н} \quad (\text{Прим. 7})$$

$$F_{тр\text{уб}} = \text{сила в трубе при } L_x \text{ [Н]}$$

$$F'_R = \text{сила трения на метр [Н/м]} \Rightarrow (14)$$

$$L_x = \text{длина трубы [м], например, 50 м}$$

Суммарная сила трения $[F_{тр\text{уб}}]$ порождает осевое напряжение в стальной трубе:

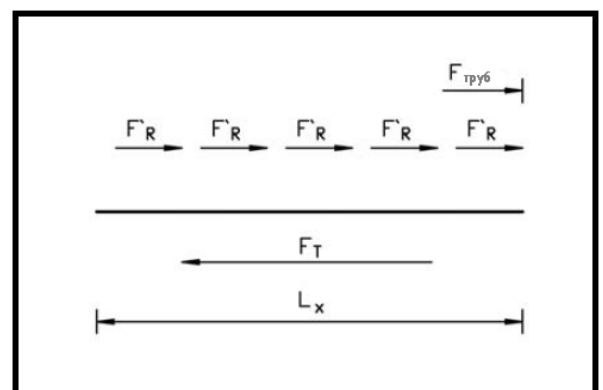
$$\sigma_a = F_{тр\text{уб}} / A \text{ [Н/мм}^2\text{]} \quad (8)$$

$$\sigma_a = 209.691,00 / 2.064,66 \text{ [Н/мм}^2\text{]} \quad (\text{Прим. 8})$$

$$\text{Результат: } \sigma_a = 101,562 \text{ Н/мм}^2 \quad (\text{Прим. 8})$$

$$\sigma_a = \text{осевое напряжение [Н/мм}^2\text{]}$$

$$A = \text{поперечное сечение стальной трубы [мм}^2\text{]}$$



Когда осевое напряжение достигает максимально допустимого значения [$\sigma_{\text{доп}} = 190 \text{ Н/мм}^2$], будет выявлена длина [$L_{\text{доп}}$], при которой между суммой силы трения [$F_{\text{тр}}]$ и силой температурного расширения [F_T] (5) возникает равновесие.

$$F'_R \cdot L_{\text{доп}} = F_T \text{ [Н]} \quad (9)$$

$$4.193,82 \cdot 93,53892 = F_T \text{ [Н]} \quad (\text{Прим. 9})$$

Результат: $F_T = 392.285,40 \text{ Н}$ (Прим. 9)

$$F'_R \cdot L_{\text{доп}} = A \cdot \sigma_{\text{доп}} \text{ [Н]} \quad (10)$$

$$4.193,82 \cdot 93,5389 = 2.064,66 \cdot 190 \text{ (Прим. 10)}$$

Результат: $392.285,40 \text{ Н}$ (Прим. 10)

Отсюда следует:

$$L_{\text{доп}} = F_T / F'_R = (A \cdot \sigma_{\text{zul}}) / F'_R \text{ [м]} \quad (11)$$

$$L_{\text{доп}} = 392.285,40 / 4.193,824.193,82 = (2.064,66 \cdot 190) / 4.193,824.193,82 \text{ (Прим. 11)}$$

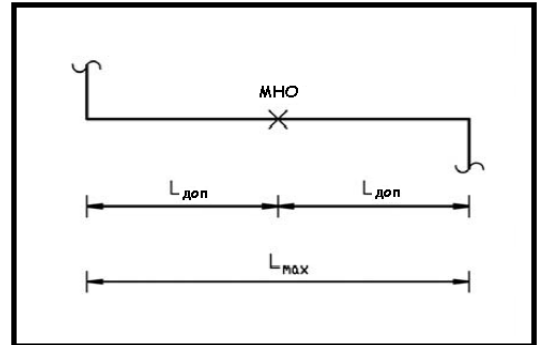
Результат: $L_{\text{доп}} = 93,53892 \approx 93,50 \text{ м}$ (Прим. 11)

$L_{\text{доп}}$ = допустимая длина монтажа от мнимой неподвижной опоры (МНО) до компенсирующего участка (Г-, Z-, П-образный отвод)

$$L_{\text{max}} = L_{\text{доп}} \cdot 2 \text{ [м]} \quad (12)$$

$$L_{\text{max}} = 93,50 \cdot 2 \text{ [м]} \quad (\text{Прим. 12})$$

Результат: $L_{\text{max}} = 187,00 \text{ м}$ (Прим. 12)

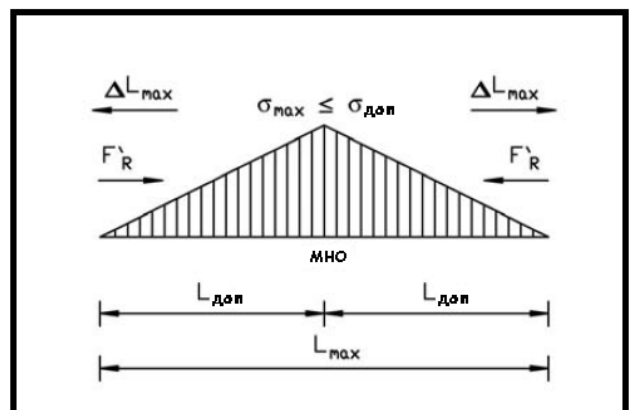


Допустимая длина укладки [L_{max}] от одного удлиняющего участка до другого зависит от следующих параметров:

- Глубина заложения трубопровода [$\ddot{U}H$]
- Наружный диаметр стальной трубы [da]
- Наружный диаметр трубы-оболочки [Da]
- Максимально допустимое осевое напряжение [$\sigma_{\text{доп}}$]

Через равномерно суммируемую силу трения [F'_R] от концов участка трубопровода до середины участка устанавливается равновесие сил. Данная точка опоры является мнимой неподвижной опорой (МНО), от которой трубопровод снова равномерно расширяется на ΔL .

В точке МНО возникает самое большое осевое напряжение, которое ограничивается параметром σ_{max} и снижается линейно к концу трубы.



Допустимая длина укладки $L_{\max}$, м

Параметры стальной трубы			Наружный диаметр Da трубы-оболочки, мм			Lmax при глубине заложения [ÜН] от верхнего края трубы-оболочки до края грунта								
Номинал. внутренний диаметр, DN	Наружный диаметр da , мм	Толщина стенки s , мм по R 2.0				ÜН = 0,80 м			Üh = 1,20 м			Üh = 1,60 м		
						Толщина изоляции								
			S	1 х	2 х *	S	1 х	2 х *	S	1 х	2 х *	S	1 х	2 х *
20	26,9	2,3	90	110	125	50	41	35	34	28	24	26	21	18
25	33,7	2,6	90	110	125	72	58	51	49	40	35	37	30	26
32	42,4	2,6	110	125	140	74	65	57	51	44	39	38	34	30
40	48,3	2,6	110	125	140	85	74	66	58	51	45	44	39	34
50	60,3	2,9	125	140	160	104	92	80	71	63	55	54	48	42
65	76,1	2,9	140	160	180	117	101	89	81	70	62	61	53	47
80	88,9	3,2	160	180	200	131	115	102	90	80	71	69	61	54
100	114,3	3,6	200	225	250	148	130	115	103	91	81	79	70	62
125	139,7	3,6	225	250	280	159	141	124	111	99	88	86	76	68
150	168,3	4,0	250	280	315	187	165	145	132	117	103	102	91	80
175 *	193,7	4,5	280	315	355	212	186	162	151	133	116	117	103	90
200	219,1	4,5	315	355	400	210	183	159	150	131	115	116	102	90
225 *	244,5	5,0	355	400	450	225	196	171	162	142	124	126	111	97
250	273,0	5,0	400	450	500	218	190	167	158	138	123	124	109	97
300	323,9	5,6	450	500	560	249	220	192	182	162	142	144	128	112
350	355,6	5,6	500	560	630	240	210	181	177	155	135	140	123	108
400	406,4	6,3	560	630	670	266	231	214	198	173	160	157	138	128
450	457,2	6,3	630	670	710	257	238	222	193	179	168	154	144	135
500	508,0	6,3	670	710	800	262	244	210	198	185	160	159	149	130
550 *	558,8	6,3	710	800	900	266	229	197	202	175	152	163	142	124
600	610,0	7,1	800	900	1000	278	240	209	214	185	163	173	151	133
650 *	660,0	7,1	900	1000	1100	258	225	198	199	175	156	163	144	128
700	711,0	8,0	900	1000	—	309	270	—	240	211	—	196	173	—
750 *	762,0	8,0	1000	1100	—	287	253	—	224	200	—	184	165	—
800	813,0	8,8	1000	1100	—	332	294	—	261	232	—	215	192	—
850 *	864,0	8,8	1100	1200	—	310	277	—	245	220	—	203	183	—
900	914,0	10,0	1100	1200	—	368	329	—	292	262	—	242	218	—
1000	1016,0	10,0	1200	1300	—	359	324	—	287	260	—	239	217	—

S = стандартный слой изоляции
усиленная изоляция *

1 х = 1 х усиленная изоляция

2 х = 2 х

ВНИМАНИЕ: При выделенных курсивом размерах (*), толщинах стенки (*), и диаметрах трубы-оболочки (*) речь идет о специальной модификации, где возможность поставки необходимо заранее прояснять.

Значения, приведенные в таблице, основаны на AGFW-директиве FW 401-части 10 и действительны для почв с удельным весом 19 кН/м^3 , с максимально допустимым касательным напряжением $[\tau_{\text{PUR}}] \leq 0,04 \text{ Н/мм}^2$ и углом трения грунта $[\varphi] 32,5^\circ$. Так же как и для черных стальных труб, сталь 37.0, W-B или S (сварных или бесшовных), №1.0254, с толщиной стенок согласно главе R, страница R 2.0. Для другой высоты перекрытия трассы $[\ddot{U}_H]$ $L_{\max}$ должна быть интерполирована и дополнительно сокращена на $\approx 5\%$.

Максимально допустимое осевое напряжение на прямом участке трубы = 190 Н/мм^2 при максимальной рабочей $T = 140^\circ \text{ С}$ и номинальным давлением PN 25. При рабочей $T > 140^\circ \text{ С}$ $L_{\max}$ должна быть сокращена на $\approx 5\%$, так как $\sigma_{\text{доп}} = \text{максимум } 180 \text{ Н/мм}^2$. В зависимости от рабочей T и глубины заложения, длина трассы $\geq 120 \text{ м}$ может стать причиной осевого

растяжения $[\Delta L] > 80$ мм. Эта $[\Delta L]$ является основой выбора толщины полиэтиленовых матов $[DP_s] > 120$ мм.

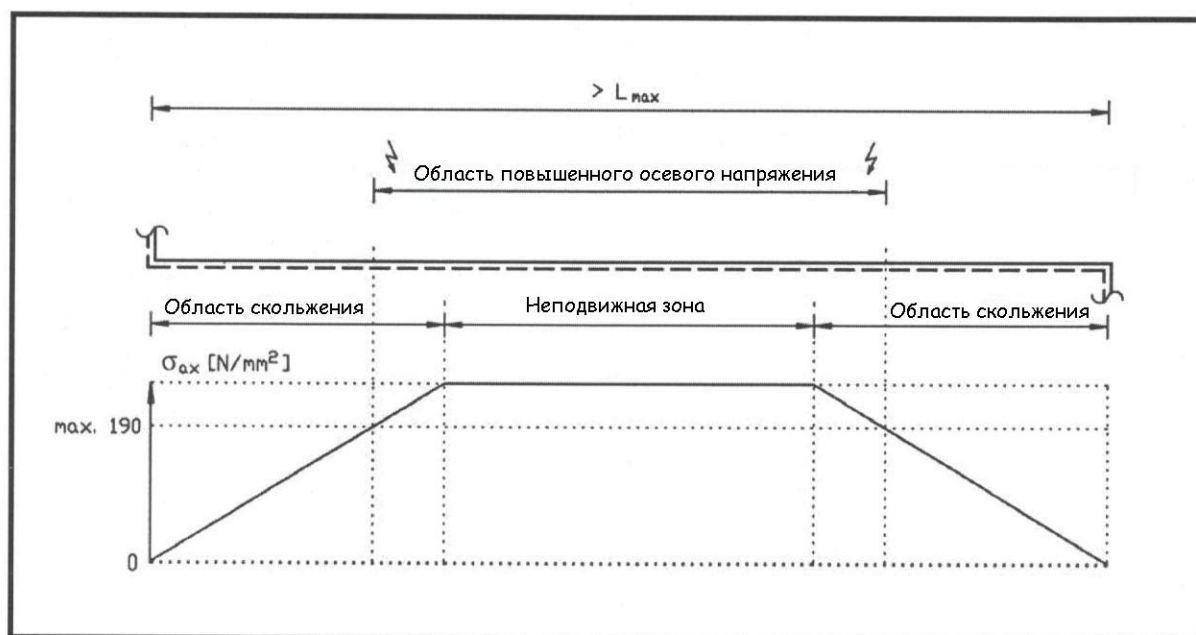
Температура трубы-оболочки ПЭВП ограничивается максимум 60°C согласно AGFW FW 401, что означает максимально допустимую $DP_s = 120$ мм. Если ΔL превышает 80 мм, то полиэтиленовые маты необходимо предварительно напрягать, см. П. 5.0 и 5.1.

Производственное самонапряжение

При холодной укладке способом производственного напряжения с рабочей температурой $> 85^{\circ}\text{C}$ можно столкнуться с чрезмерным диапазоном нагрузки, который ранее считался недопустимым при укладке ППУ-теплотрассы. При укладке данного типа ППУ-теплотрассы могут прокладываться без ограничений, т.е. без компенсационных мер в виде П-образных компенсаторов или Z-образных элементов.

Для сварных или бесшовных труб сталь 37.0 действуют условия поставки согласно DIN 1626/1629 до условного прохода DN 300, игнорируя частичные коэффициенты запаса прочности $[\gamma_m]$, где допустимое осевое напряжение $[\delta_{ax}]$ в прямой трубе - 300 N/mm^2 ($R_e \cdot 1,5$) при максимальной производственной температуре 130°C . Согласно заводскому сертификату на стальную трубу Сталь 37.0, фактический предел текучести составляет приблизительно 300 Н/мм^2 . Данный фактор будет использован для самонапряжения.

Начиная с условного прохода DN 350, при стали 37.0 δ_{ax} снижается. Это может привести к тому, что стальную трубу будет необходимо заменить на более высококачественную, как, например, сталь 52.0. В противном случае, несмотря на опоры и укрепление грунтовые и ПЭВП, будет наблюдаться местная нестабильность в виде выпучивания (т.е. постоянного роста местной деформации пластика при повторяющейся нагрузке свыше R_e). Именно поэтому максимально возможный условный проход для стали 37.0 ограничивается DN 300. При расчетных или производственных температурах от 131° до 155°C максимум, независимо от размера, необходимо использовать сталь 52.0.



«Производственное самонапряжение» трассы может быть достигнуто одинарным превышением предела текучести стальной трубы $R_e \text{ St } 37.0 = 204 \text{ Н/мм}^2$ при температуре 130°C . Посредством затруднения термической деформации при первом вводе в эксплуатацию, производственный материал при достижении R_e на прямом участке будет однократно пластично усажен. Производственный материал в прочих расчетных случаях нагрузки останется эластичным.

Особенности „Производственного самонапряжения“ смотрите в П. 2.3.1

Особенности производственного самонапряжения

1. В три-четыре раза больше деформация по сравнению с термическим предварительным нагревом, что требует растягивающие подкладки или даже конструкции по растяжению. Отказ от полиэтиленовых матов статически подтвердить невозможно.
 2. В указанном случае необходимо дополнительное термическое или механическое предварительное напряжение растягивающих подкладок или углов поворота.
 3. Высокое сжимающее напряжение в жесткой ППУ-пене на всех поворотах тепловой трассы и крайне большие силы в подземной запорной арматуре.
 4. Заводские предварительно изолированные ответвления являются слабыми участками поперечного сечения на магистральных трубах, которые компенсируются только посредством усилительных консолей или замены тройника согласно DIN 2615.
 5. Сжатие стальной трубы должно измеряться согласно DIN 2616-Часть 2
 6. Любое последующее подсоединение домов к сети или фланцевого соединения должно быть детально проверено, независимо от того, находится ли оно в статичной или динамичной точке, так как вероятно, что подсоединение окажется невозможным.
 7. Свойства грунта на участке должны быть постоянными. Подземные работы необходимо производить строго в соответствии с требованиями к качеству грунта и последующей засыпки. В указанном случае необходимо регулярно осуществлять контроль.
 8. Глубина заложения трассы должна быть точно подобрана перед началом реализации проекта, любое изменение должно быть статически проверено и одобрено.
 9. Подземные и конструктивные неподвижные опоры в сооружениях невозможны по причине завышенной осевой силы.
 10. Косая резка или косые надломы не допустимы по AGFW FW 401, так как осевое напряжение $[\delta_{ax}]$ превышает предел текучести $[R_e]$. Граница допуска для монтажа – лишь 0,25°! В связи с этим, необходимо инструктировать рабочих подрядной организации и, при необходимости, отслеживать их работу.
 11. Повышенное напряжение соединительных муфт, которые требуют высокого качества конструкции.
 12. По возможности не прокладывать трассы вдоль проспекта с деревьями, так как потоки воздуха, проходящие через корневую систему, могут значительно повлиять на статические характеристики грунта (трение)!
 13. Любое строительство, параллельное ППУ-теплотрассе, которое подразумевает подземные работы, раскопки или шахты, должно сопровождаться детальными расчетами из-за опасности потери устойчивости трассы и, соответственно, требует особого разрешения. Isoplus, как ответственная сторона, должен получить разрешение на строительство. Он должен уведомить (или поручить выполнение работы) все учреждения по обслуживанию населения и/или центральные органы. Isoplus также является ответственным за расчет максимально допустимой длины укладки трассы.
- Все занятые в строительстве должны действовать с особой осторожностью при «параллельном строительстве». Такое строительство должно происходить под постоянным независимым контролем. На так называемых участках повышенного осевого напряжения (см. план трассы isoplus) открытая холодная укладка является самой критической, так как в данном случае превышает предел текучести $[R_e]$ стальной трубы. Возможны внезапные потери устойчивости или выпучивание трубы!

Isoplus, в случае укладки трассы по технологии «Производственное самонапряжение», настаивает на письменном согласии и/или подтверждении строительной бригады или других уполномоченных лиц, что все вышеперечисленные ограничения, особенности и риски были учтены и не повлияют на срок службы теплотрассы.

Осевое растяжение

За счет изменения температуры все вещества изменяют свои объемы. Для полиэтиленовой трубы-оболочки осевое расширение происходит из-за изменения температуры наибольших значений. Это изменение длины противодействует силе трения между ПЭ-оболочкой и песчаным слоем. Через эти силы в системе генерируются различные напряжения. Задачей статики является обнаружение возникающих напряжений при рассмотрении надежности, чтобы предельные значения компонентов не были превышены, а изменение длины трубопровода было оптимально скомпенсировано.

Свободное растяжение

Под "свободным растяжением" $[\varepsilon]$ понимают беспрепятственное изменение длины трубопровода $[\varepsilon_L]$ при повышении температуры, не принимая во внимание трение и сопротивление. Определяющим фактором изменения длины является коэффициент расширения $[\alpha]$ стальной трубы. Свободно перемещающийся ППУ-трубопровод L_x изменяет длину, пренебрегая трением опоры при повышении температуры следующим образом:

$$\varepsilon_L = \alpha * L_x * \Delta T \text{ [мм]} \quad (13)$$

$$\varepsilon_L = 1,26 * 10^{-5} * 50.000 * 120 \text{ [мм]} \quad (\text{Пр. 13})$$

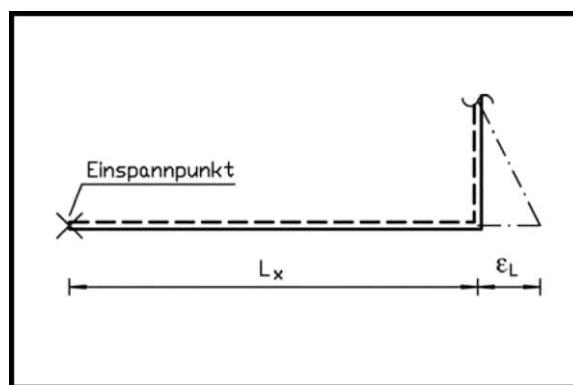
$$\text{Ответ: } \varepsilon_L = 75,6 \text{ мм.} \quad (\text{Пр. 13})$$

L_x = длина трубы [мм]

α = Коэффициент линейного расширения стальной трубы [1/К], см.стр. Р 2.1

ΔT = Разность температур монтажа и максимальной рабочей температуры,

Например, $130 - 10 = 120^\circ \text{C}$



Ограниченное растяжение

В засыпанном и заполненном состоянии, ППУ-трубопровод при повышении температуры, в отличие от свободного расширения, сильно ограничивается изменением длины, так как через осевое движение происходит сила трения $[F_R]$ между ПЭ-оболочкой трубы и грунтом. Сила трения является результатом давления, действующего со стороны веса ППУ-трубопровода или нормальных сил $[F]$, т.е. от давления грунта или нормальной силы $[F_N]$ и веса трубопровода, наполненного водой $[F_G]$ а также коэффициента трения $[\mu]$.

$$F_R = \mu * (F_N + F_G) \text{ [Н/м]} \quad (14)$$

$$F_R = 0,40 * (10.076,46 + 408,10) \text{ [Н/м]} \quad (\text{Пример 14})$$

$$\text{Ответ: } F_R = 4.193,82 \text{ Н/м:}$$

$$\text{Или } F_R = 4,194 \text{ кН/м} \quad (\text{Пример 14})$$

$$\mu = \text{Коэффициент трения [-]} \rightarrow (15)$$

$$F'_N = \text{Давление грунта [Н/м]} \rightarrow (18)$$

$$F'_G = \text{согласно.гл.монтаж стр.М 11.1, формулы (88) до (92)} \rightarrow (\text{Пример}) = 408,10 \text{ Н/м}$$

П.3.1

Коэффициентом трения $[\mu]$ является тангенс угла трения $[\varphi]$ между ПЭ-оболочкой трубы и слоем песка.

$$\mu = \tan * \delta [-] \quad (15)$$

$$\mu = \tan * 21,67 [-] \quad \text{Ответ: } \mu = 0,397 \approx 0,40p \quad (\text{Пример 15})$$

Размер δ зависит от внутреннего трения угла грунта $[\varphi]$. В литературе и в качестве статического параметра для песка и грунта применяется расположение угла трения $[\varphi]$ $32,5^\circ$ и удельный вес $[\rho]$ $19 \text{ кН} / \text{м}^3$.

$$\delta = (2/3) * \varphi [^\circ] \quad (16)$$

$$\delta = (2/3) * 32,5 [^\circ] \quad \text{Ответ: } \delta = 21,76^\circ \quad (\text{Пример 16})$$

Для того, чтобы определить нагрузку грунта и расчетную силу $[F_N]$, должен быть известен коэффициент давления $[k_0]$ угла трения почвы $[\varphi]$.

$$k_0 = 1 - \sin \varphi [-] \quad (17)$$

$$k_0 = 1 - \sin \varphi 32,5 [-] \quad \text{Ответ: } k_0 = 1 - 0,537 = 0,463 \approx 0,46 [-] \quad (\text{Пример 17})$$

Для расчётной силы F_N применяется:

$$F_N = \rho * h_m * \pi * D_a * \frac{1+k_0}{2} [\text{Н/м}] \quad (18)$$

$$F_N = 19.000 * 0,925 * 3,1416 * 0,25 * \frac{1+0,46}{2}$$

$$\text{Ответ: } F_N = 10.076,46 \text{ Н/м} \quad (\text{Пр 18})$$

ρ = удельный вес грунта $[\text{Н/м}^3]$

h_m = отметка от верха изоляции $[\text{м}]$

$$= \ddot{U}_H + D_a : 2, \text{ НАПРИМЕР } 0,8 + 0,25 : 2 = 0,925$$

$\ddot{U}_H$ = Верх трубы-глубина заложения $[\text{м}]$

$\pi = 3,1416 [-]$

D_a = Наружный диаметр ПЭ-трубы $[\text{м}]$

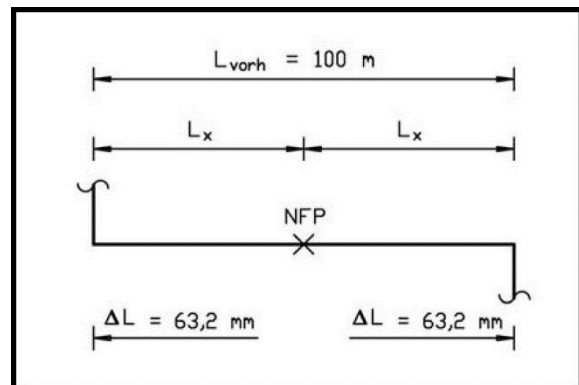
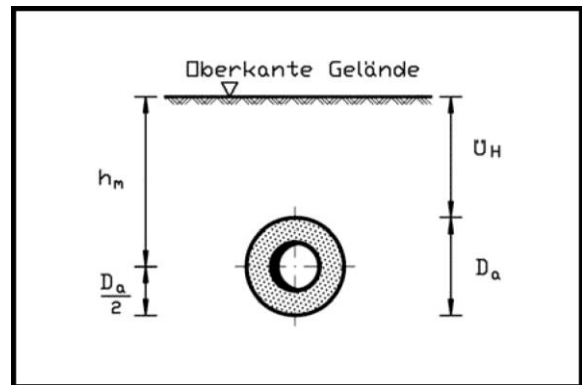
Для определения ограниченного растяжения $[\Delta L]$ и осевого сдвига $[u]$ из ε_L (13) должно быть вычтено сопротивление трению.

$$\Delta L = \varepsilon_L - \frac{F_R * L_x^2}{2 * E * A} [\text{мм}]$$

$$\Delta L = 75,6 - \frac{4,194 * 50.000^2}{2 * 204.600 * 0,264,66} [\text{мм}]$$

$$\text{Ответ: } \Delta L = 63,2 \text{ мм.} \quad (\text{Пример 19})$$

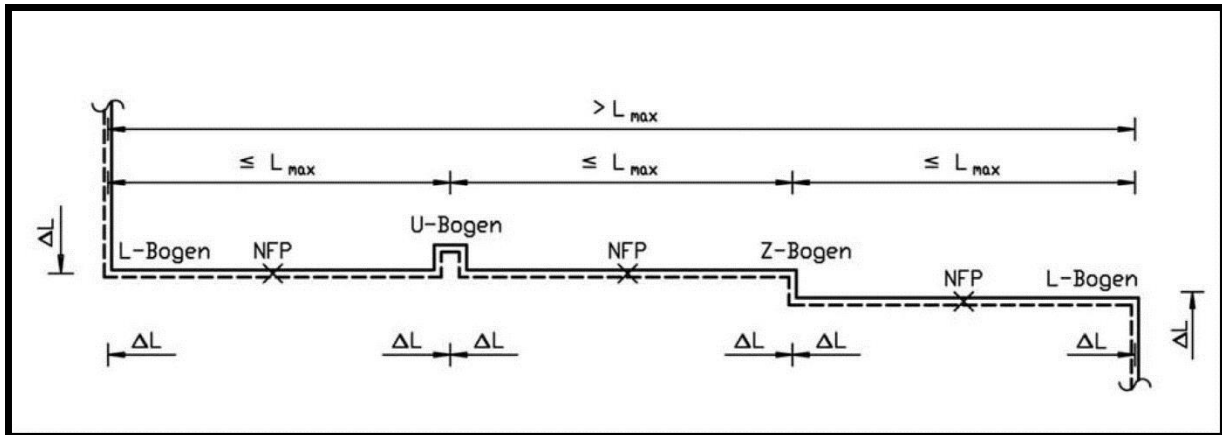
Это означает, что участок длиной 100м. (DN 150/250; Тв = 130°C , $\ddot{U}_H = 0,80 \text{ м}$) от середины [МНО] из направления обоих концов компенсатора (L, Z, U) сдвигается на 63,2 мм.



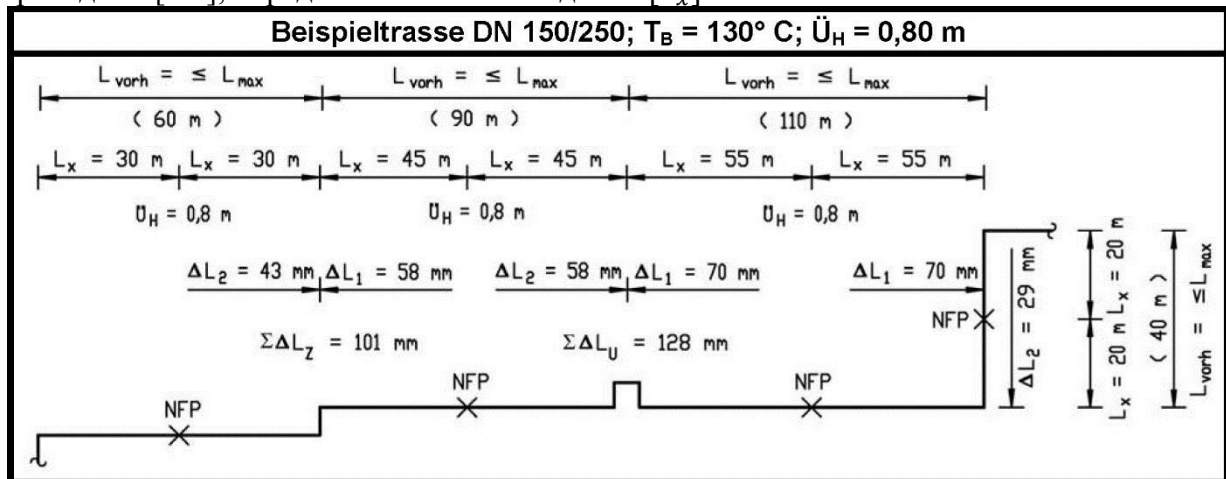
Компенсация за счет углов поворота

Для укладки участков для Г-, Z- и П-образных отводов, как и для определения необходимой толщины расширения должны быть известны размеры линейного расширения $[\Delta L]$. Так как это зависит от длины трубопровода $[L_{vorh}]$, рабочей температуры $[T_B]$ и высоты покрытия $[\ddot{U}_H]$ должно быть выполнено точное вычисление, см. стр. Р 3.0 и Р 3.1. На практике, однако, ΔL может быть определена с достаточной точностью с помощью диаграммы, приведенной на стр. Р 3.2.1 и 3.2.2 Р.

Эти графики действительны для размеров стальных труб до DN 500, высотой засыпки грунта 0,80 м и с рабочей температурой 130 °. Размеры больше не могут быть отображены в связи со сложностью расчета. В таких случаях применения, структурные расчеты осуществляются исключительно Изоплюс с помощью действующего программного обеспечения.



На основании данных, приведенной длины трубопровода между двумя удлиненными переходами $[DS]$, определяется половина длины $[L_x]$.



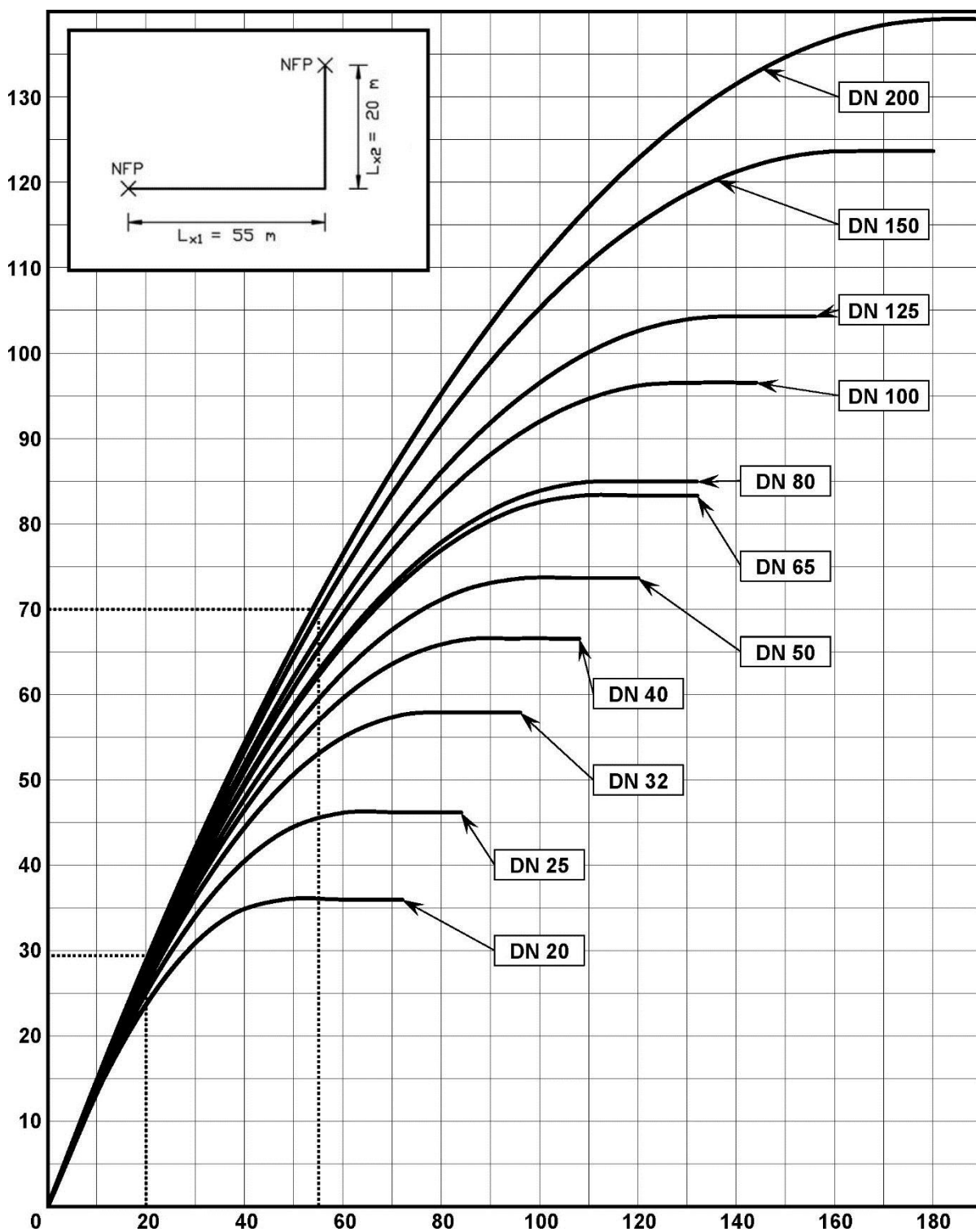
Линейное расширение $[\Delta L]$ от L_x для DN 20 до DN 200 см.стр.Р 3.2.1

Линейное расширение $[\Delta L]$ от L_x для DN 250 до DN 500 см.стр. Р 3.2.2

Поправочные коэффициенты для других $\ddot{U}_H$, угол и T_B см.стр. Р 3.3 + Р 3.3.1

Определение необходимой толщины расширения $[DP_S]$ см.стр. Р 3.3.1

Определение длины плеча $[DS_L]$ L-, Z- и U-отвода см.стр. Р 3.4 – Р 3.6



П.3.2.1

Линейное расширение ΔL [мм] для DN 20 до DN 200

Поправочные коэффициенты для других $\ddot{U}_H$, угол и T_B см.стр. Р

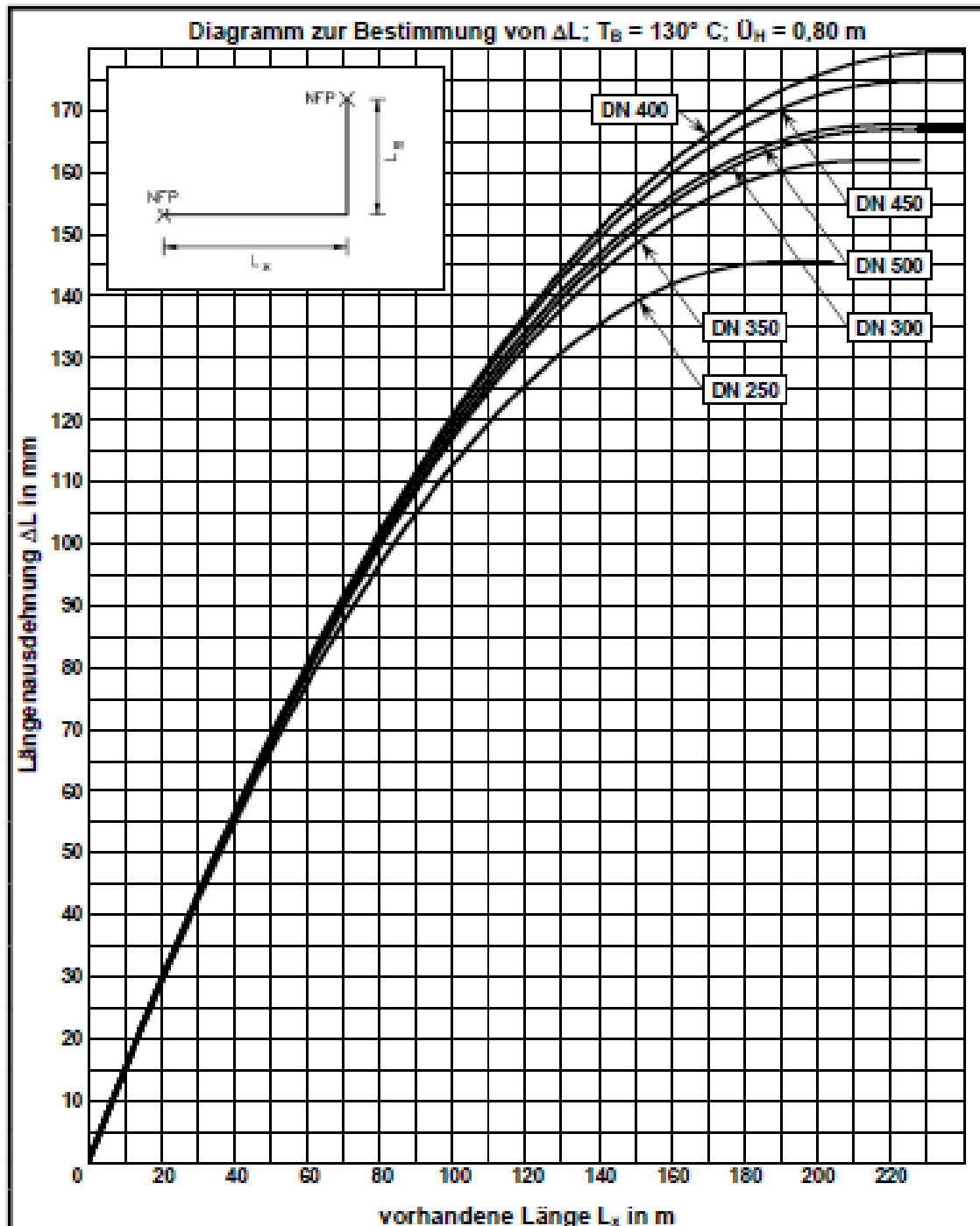
3.3 +

Р 3.3.1

Определение необходимой толщины расширения $[DP_S]$ см.стр. Р 3.3.1

Определение длины плеча $[DS_L]$ L-, Z- и U-отвода см.стр. Р 3.4 – Р 3.6

Линейное расширение ΔL [мм] для DN 250 до DN 500



Поправочные коэффициенты для других $\ddot{U}_H$, угол и T_B см.стр. Р 3.3 + Р 3.3.1

Определение необходимой толщины расширения $[DP_S]$ см.стр. Р 3.3.1

Определение длины плеча $[DS_L]$ L-, Z- и U-отвода см.стр. Р 3.4 – Р 3.6

Поправочные коэффициенты других высот покрытия [$\ddot{U}_H$]

Для высот покрытия более 0,80 м линейное расширение [ΔL] может быть уменьшено. В зависимости от соотношения данных между двумя участками [DS] длины трубопровода [L_{vorh}] до максимально допустимой длины укладки [L_{max}] действуют различные факторы снижения [$\Delta f_{\ddot{U}_H}$].

Для того, чтобы получить соответствующее значение, должно быть известно соотношение [L_V] от L_{vorh} до L_{mx} при $\ddot{U}_H = 0,80$ м.

$$L_V = \frac{L_{vorh}}{L_{max}} [-] \quad (20)$$

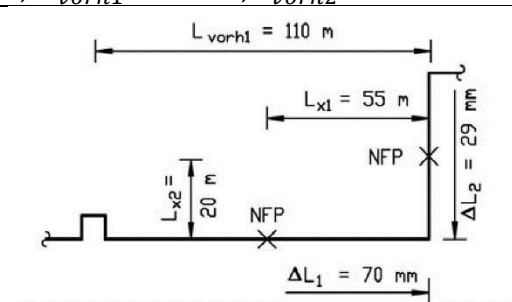
Для факторов снижения [$\Delta f_{\ddot{U}_H}$] применяется:

Фактор снижения	Соотношение длины L_V при $\ddot{U}_H = 0,80$	$\ddot{U}_H = 0,80$ м	$\ddot{U}_H = 1,00$ м	$\ddot{U}_H = 1,20$ м	$\ddot{U}_H = 1,60$ м	Примеры длин для DN 150/250, $L_{max} = 187,00$ м. (см. P.2.2)
$\Delta f_{\ddot{U}_H A}$	$< 0,15$	1,00	1,00	1,00	1,00	$< 28,05$ м.
$\Delta f_{\ddot{U}_H B}$	$0,15 - < 0,30$	1,00	1,00	1,00	0,90	28,05 м. - $< 56,10$ м.
$\Delta f_{\ddot{U}_H C}$	$0,30 - < 0,45$	1,00	1,00	0,90	0,80	56,10 м. - $< 84,15$ м.
$\Delta f_{\ddot{U}_H D}$	$> 0,45$	1,00	0,90	0,85	0,70	$> 84,15$ м.

Пример DN 150/250; $T_B = 130^\circ\text{C}$; $\ddot{U}_H = 1,20$ м; $L_{vorh1} = 110$ м; $L_{vorh2} = 40$ м.

$L_{vorh1} = 110$ м; $L_V = 110:187 = 0,59$
 $L_{x1} = 55$ м; $\Delta L_1 = 70$ мм P 3.2.1
 $\Delta f_{\ddot{U}_H D} = 0,85$; $\Delta L_1 = 70 \cdot 0,85 = 59,5$ мм

$L_{vorh2} = 40$ м; $L_V = 40:187 = 0,21$
 $L_{x2} = 20$ м; $\Delta L_2 = 29$ мм P 3.2.1
 $\Delta f_{\ddot{U}_H B} = 1,00$; $\Delta L_2 = 29 \cdot 1,00 = 29,0$ мм



Поправочные коэффициенты дополнительного угла [α] $< 90^\circ$

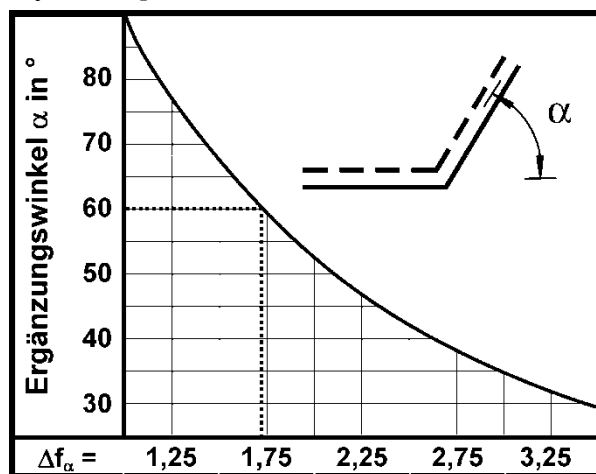
Для дополнительного угла [α] $< 90^\circ$ из осевого растяжения [ΔL_U] в результате смещения [ΔL_V] через коэффициенты пересчета [ΔL_V] определяется в соответствии со схемой.

Пример, $\Delta L_1 \alpha = 60^\circ$
 $70 \cdot 0,85 \cdot 1,73 = 103$ мм

$\Delta L_V \geq 80$ мм вызывает толщину прокладки [DP_S] > 120 мм. Для того, чтобы не превысить допустимую температуру 60°C ПЭ-трубы, термически или механически сместить плечи с [DP_S] > 120 мм, см. стр. P 5.0 и P 5.1

Определение необходимой толщины расширения площадки [DP_S] см. стр. P3.3.1

Определение длин плеч [DS_L] Г-, Z- и П-образных отводов см. стр. P 3.4 - P 3.6



Поправочные коэффициенты другой рабочей температуры [T_B]

Максимальная рабочая температура [T_B] оказывает решающее влияние на реальное движение расширения. Поэтому, в соответствии с Р 3.2.1 или Р 3.2.2 определенные линейные расширения должны быть исправлены следующими факторами [Δf_{TB}].

Рабочая температура T_B в °C	155	140	130	120	110
Корректирующий фактор Δf_{TB}	1,29	1,10	1,00	0,92	0,84

Рабочая температура T_B в °C	100	90	80	70	60
Корректирующий фактор Δf_{TB}	0,75	0,67	0,59	0,50	0,42

Пример, $T_B = 90^\circ (\Delta L_1 * \Delta f_{\dot{U}H} * \Delta f_\alpha * \Delta f_{TB})$:
 $= 70 * 0,85 * 1,73 * 0,67 = 69,00 \text{ мм (21)} \rightarrow DP_S = 120 \text{ мм}$

Минимальная толщина полиэтиленового мата [DP_S мин]

После определения с помощью поправочных коэффициентов [$f_{\dot{U}H} + \Delta f_\alpha + \Delta f_{TB}$] эффективного движения растяжения [ΔL_{eff}], минимальная толщина полиэтиленового мата [DP_{Smin}] определяется следующим образом:

$$DP_{Smin} = \Delta L_{eff} * 1,50 \text{ [мм]} \quad (21)$$

В зависимости от движения растяжения [ΔL_{eff}] различаются толщины полиэтиленового мата [DP_S]:

$$\Delta L_{eff} = 00 - < 27 \text{ мм} \rightarrow DP_S = 40 \text{ мм}$$

$$\Delta L_{eff} = 27 - < 53 \text{ мм} \rightarrow DP_S = 80 \text{ мм}$$

$$\Delta L_{eff} = 53 - < 80 \text{ мм} \rightarrow DP_S = 120 \text{ мм}$$

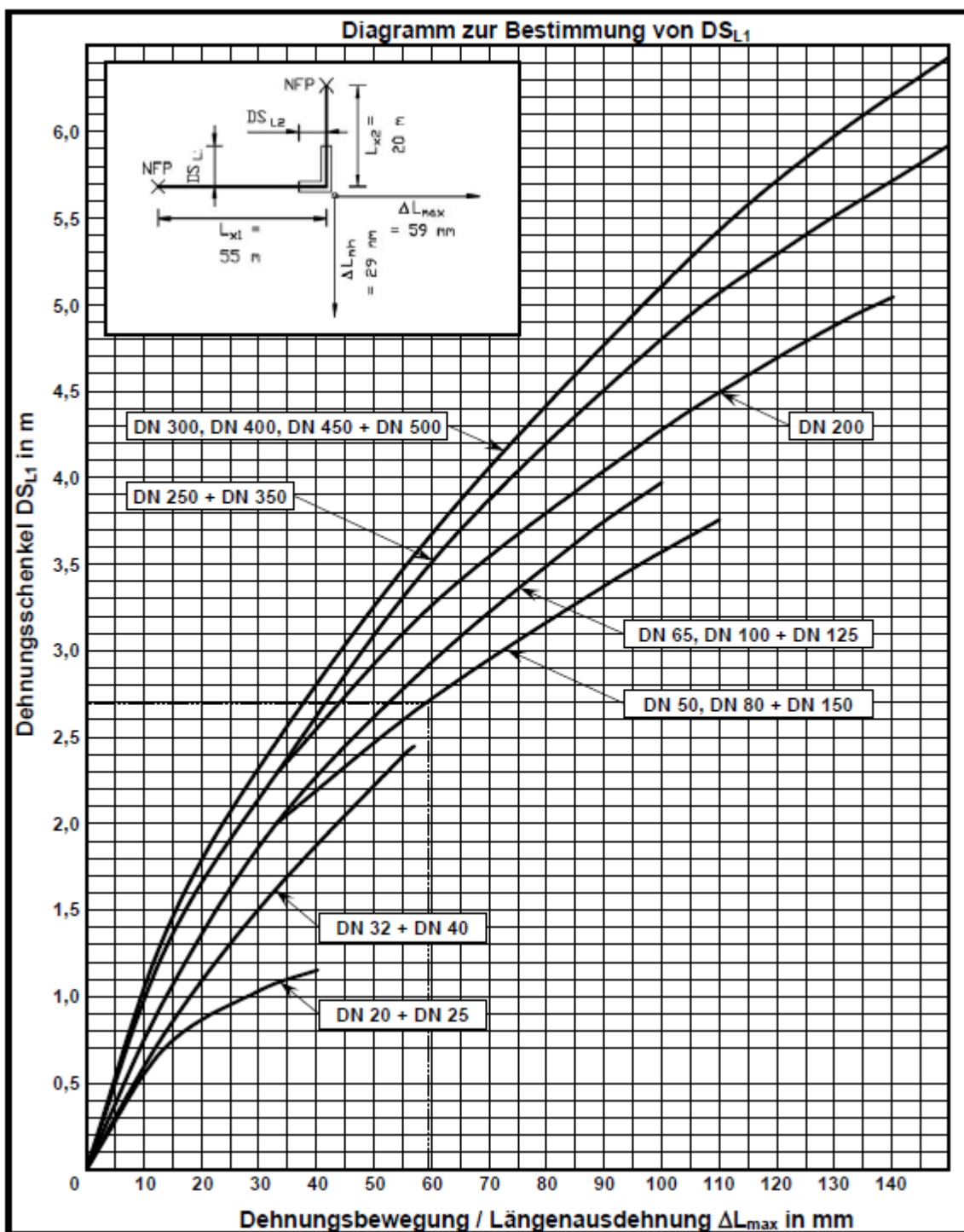
При $\Delta L > 80$ мм термически или механически должна быть смещена на 50% DP, см стр. Р 5.0 и Р 5.1, это означает, что DP при:

$$\Delta L_{eff} = 80 - < 106 \text{ мм} \rightarrow DP_S = \Delta L * 0,75 \text{ [мм]} \quad (22) \rightarrow DP_S = 80 \text{ мм}$$

$$\Delta L_{eff} = 106 - < 160 \text{ мм} \rightarrow DP_S = \Delta L * 0,75 \text{ [мм]} \quad (22) \rightarrow DP_S = 120 \text{ мм}$$

Эффективное расширение [ΔL_{eff}] > 160 мм не может быть компенсировано с помощью колодки расширения. В этом случае предусматривается создание Dehnungsbauwerke или компенсатора сильфонного типа в шахте.

Длина плеч DS_{L1} [м] для L – отводов из ΔL_{max}



Определение необходимой толщины полиэтиленового мата [DPs] см.стр. **Р 3.3.1**

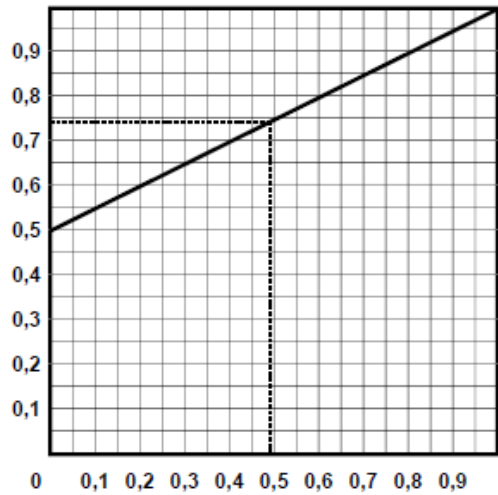
Определение длины плеч [DSL2] для L-отводов из ΔL_{min} см.стр. **Р 3.4.1**

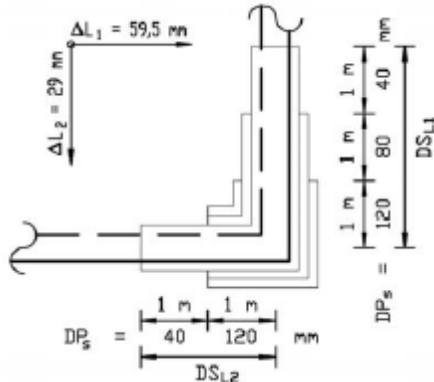
Длины плеч DSL2 [м] для L-отводов из ΔL_{min}

С диаграммой на стр. Р.3.4 наибольшая длина плеча [DSL1] L-отвода определяется в результате максимального расширяющего движения [ΔL_{max}]. Для определения наименьшей длины плеча [DSL2], должно быть известно соотношение [ΔV_n] от ΔL_{min} до ΔL_{max} .

$$\Delta V_n = \frac{\Delta L_{min}}{\Delta L_{max}} [-] \quad (23)$$

Через это значение соотношения [ΔV_n] определяется Dehnungsschenkelfaktor [DSL2f].

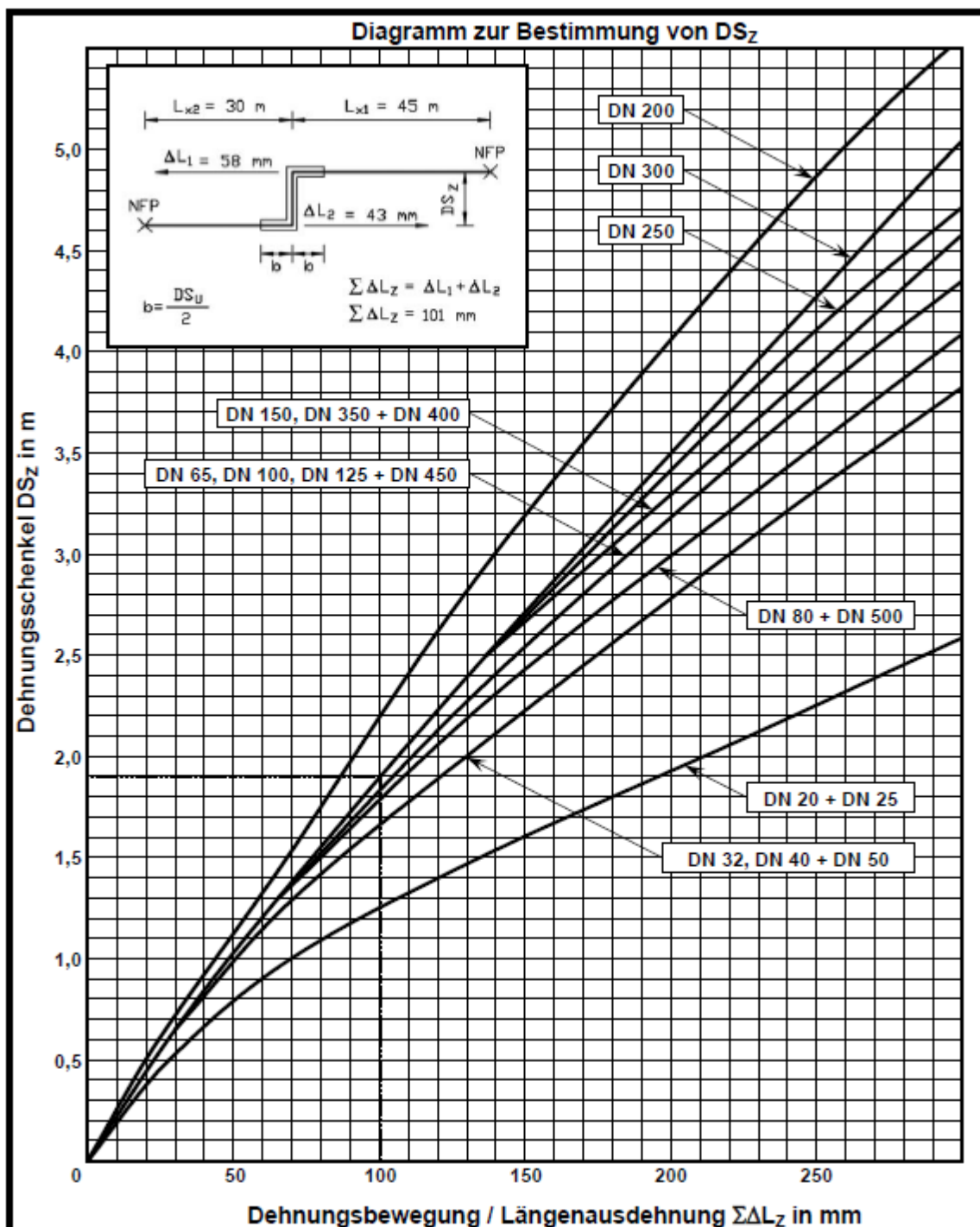
Пример DN 150/250 стр. Р 3.3	Фактор диаграммы DSL2f
TB = 130° C; $\ddot{U}H = 1,20$ м Lvorh1 = 110 м; Lx1 = 55 м $\Delta L1 = 70$ мм. стр. Р 3.2.1 $\Delta f\ddot{U}H D = 0,85$; $\Delta L1 = 70 \cdot 0,85 = 59,5$ мм $\Delta L1 = 59,5$ мм = ΔL_{max} Lvorh2 = 40 м; Lx2 = 20 м $\Delta L2 = 29$ мм стр. Р 3.2.1 $\Delta f\ddot{U}H B = 1,00$; $\Delta L2 = 29 \cdot 1,00 = 29,0$ мм $\Delta L2 = 29,0$ мм = ΔL_{min} DSL1 для $\Delta L_{max} = 2,70$ м стр. Р 3.4 $\Delta V_n = 29,0 : 59,50 = 0,49$ DSL2f = 0,74 согласно диаграмме $\Rightarrow \Rightarrow$ DSL2 = DSL1 • DSL2f [м] (24) DSL2 = 2,70 • 0,74 = 2,00 м	 Число соотношения ΔV_n

Пример расположения полиэтиленового мата L-отвода	
$\Delta L1 = 59,50$ мм (22) $\Rightarrow DP_{s \min} = \Delta L \cdot 1,50$ [мм] $DP = 59,50 \cdot 1,50 = 89,25$ мм DP_s выбранный = 120 мм DSL1 = 2,70 м стр. Р 3.4 Длина полиэтиленового мата DPL округленная = 3,00 м $\Delta L2 = 29,00$ мм $DP_{s \min} = 29,00 \cdot 1,50 = 43,50$ мм DP_s выбранный = 80 мм DSL2 = 2,00 м из примера (24) Длина полиэтиленового мата DPL = 2,00 м	

Определение необходимой толщины полиэтиленового мата [DPs] см.стр.Р 3.3.1

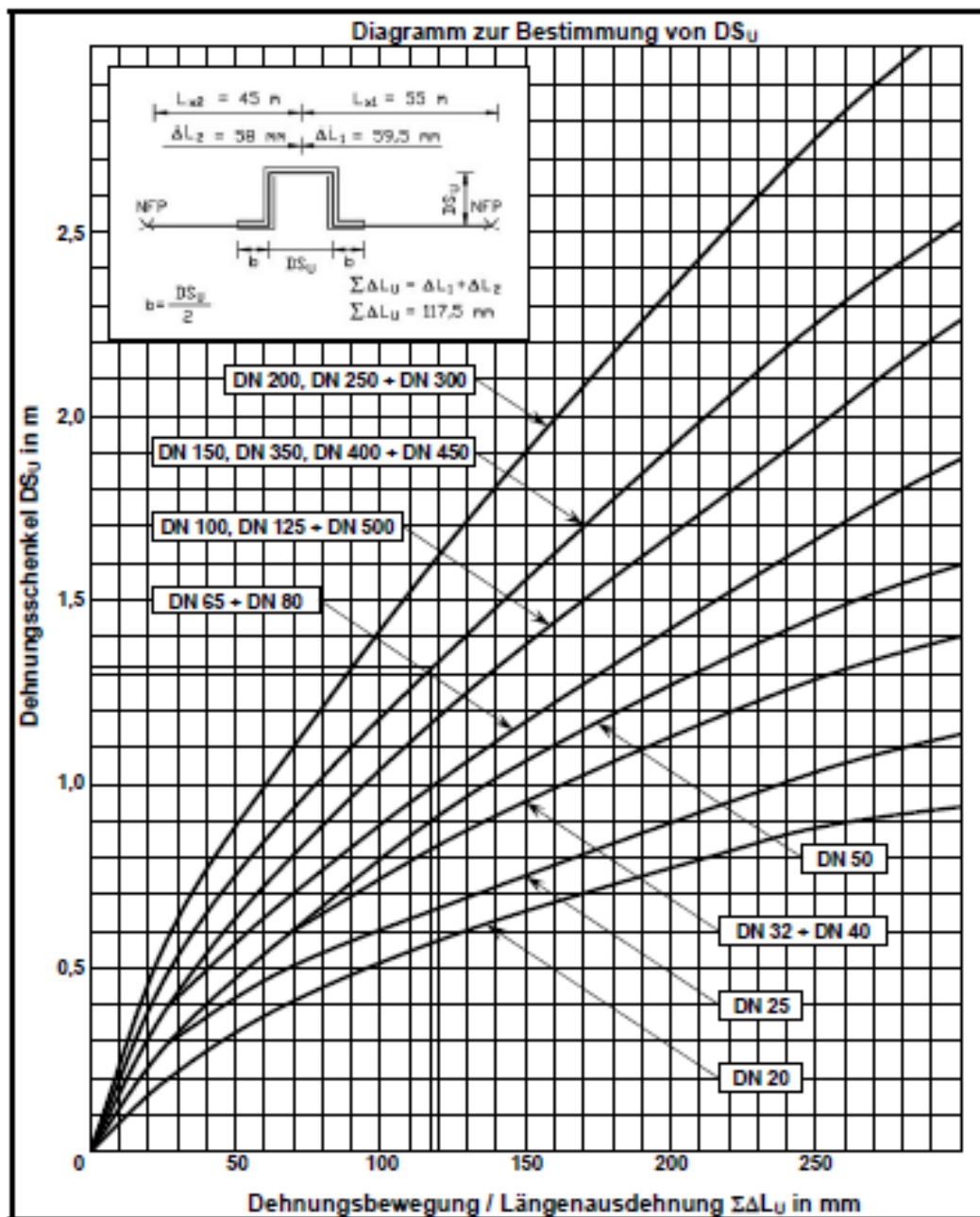
Определение длин плеч [DSL1] для L-отвода из ΔL_{max} см.стр. Р 3.4

Длина плеч DS_Z [м] для Z-образного элемента из $\Sigma\Delta L_{1+2}$



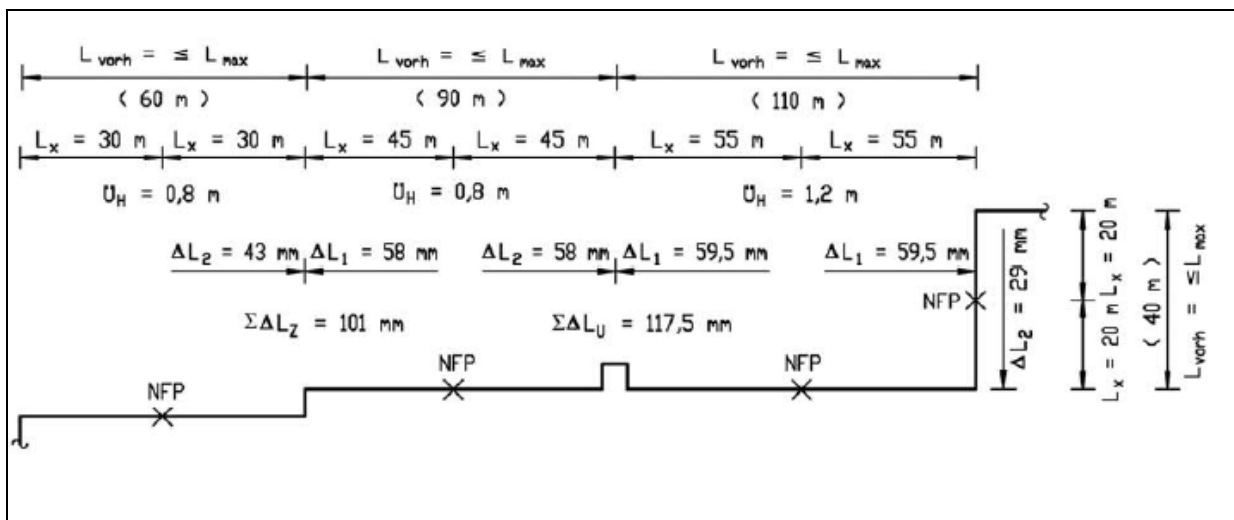
Пример для расположения полиэтиленового мата Z-образного элемента см.стр.Р 3.7
Определение необходимой толщины мата [DPs] см.стр.Р 3.3.1

Длина плеч DSu [м] для U-образного элемента из $\Sigma\Delta L_{1+2}$



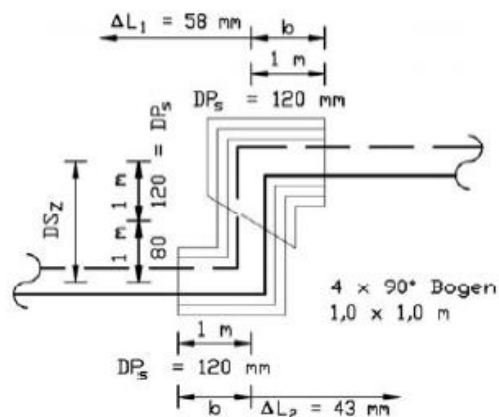
Пример для расположения полиэтиленового мата U-образного элемента см.стр. Р 3.7
Определение необходимой толщины полиэтиленового мата [DPs] см.стр. Р 3.3.1

Пример трубопровода DN 150/250; TB = 130° C; $\ddot{U}H = 0,80 \text{ м} - 1,20 \text{ м}$



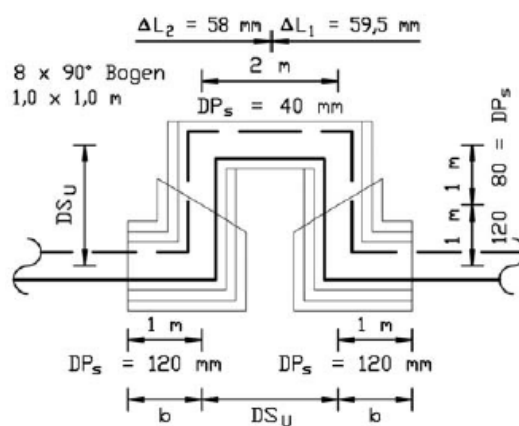
Пример расположения полиэтиленового мата Z-образного элемента

$\Delta L_1 = 58,00 \text{ mm}$
 $(21) \Rightarrow DP_s \text{ min} = \Delta L \cdot 1,50 [\text{mm}]$
 $DP_s \text{ min} = 58,00 \cdot 1,50 = 87,00 \text{ mm}$
 $DP_s \text{ выбранный} = 120 \text{ mm}$
 $\Delta L_2 = 43,00 \text{ mm}$
 $DP_s \text{ min} = 43,00 \cdot 1,50 = 64,50 \text{ mm}$
 $DP_s \text{ выбранный} = 80 \text{ mm}$
 $\Sigma \Delta L_Z = 101,00 \text{ mm}$
 $DSZ = 1,90 \text{ m}$ из Р 3.5
 $DSZ \text{ выбранный} = 2,00 \text{ m} \Rightarrow 2 \text{ отвода } 1 \times 1 \text{ m}$
 $b = DSZ : 2 = 0,95 \text{ m}$; $DSL \text{ выбранный} = 1,00 \text{ m}$



Пример расположения полиэтиленового мата U-образного элемента

$\Delta L_1 = 59,50 \text{ mm}$
 $(21) \Rightarrow DP_s \text{ min} = \Delta L \cdot 1,50 [\text{mm}]$
 $DP_s \text{ min} = 59,50 \cdot 1,50 = 89,25 \text{ mm}$
 $DP_s \text{ выбранный} = 120 \text{ mm}$
 $\Delta L_2 = 58,00 \text{ mm}$
 $DP_s \text{ min} = 58,00 \cdot 1,50 = 87,00 \text{ mm}$
 $DP_s \text{ выбранный} = 120 \text{ mm}$
 $\Sigma \Delta L_U = 117,50 \text{ mm}$
 $DSU = 1,32 \text{ m}$ из Р 3.6
 $DSU \text{ выбранный} = 2,00 \text{ m} \Rightarrow 2 \text{ отвода } 1 \times 1 \text{ m}$
 $b = DSU : 2 = 0,66 \text{ m}$; $DSL \text{ выбранный} = 1,00 \text{ m}$



Определение необходимой толщины полиэтиленового мата[DPs] см. стр. Р 3.3.1

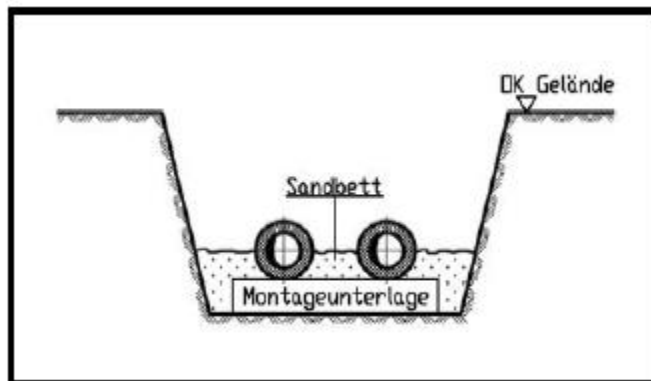
Определение длин плеч [DSL] для Z- образного элемента U-образного элемента из $\Sigma \Delta L_1 + 2$ см.стр. Р 3.5 + Р 3.6

Предварительное термическое напряжение

Технология предварительного термического напряжения используется для подогрева Изоплюс - трубопровода перед заполнением траншеи трубопровода. На практике, предварительное термическое напряжение происходит в соответствии с регулируемой рабочей средой, но также может быть выполнено с помощью парово-вакуумного или электротермического агрегата.

Если из-за ограничения в пространстве не могут быть реализованы естественные плечи угла поворота, то предлагается технология предварительного теплового напряжения. Этот способ используется, когда допустимая длина укладки L_{max} проектируемого участка теплотрассы превышена. В начале и в конце секции предпочтительно должны быть расположены Г-, Z- или П-образные отводы. Они могут также располагаться с одной стороны, создавая при этом неподвижную область.

На соответствующем участке, для выполнения предварительного напряжения, следует наполнить и уплотнить трубопровод до половины оболочки с песком – это служит как скользящая опора трубопровода. При предварительном напряжении в открытой траншее происходит беспрепятственное изменение длины, которое должно быть зарегистрировано.



Происходящее из-за скольжения остаточное удлинение, см.стр. **Р 4.3.1** и **Р 4.3.2** должно быть скомпенсировано через полиэтиленовый мат. Длина области не влияет на осевое расширение концов области скольжения. За счет предварительного термического напряжения гарантируется, что трубопровод может быть проложен на любой длине без превышения допустимого осевого напряжения.

В участках трубопровода, меньше допустимой длины укладки, предварительное термическое напряжение в открытых траншеях является неэффективным, так как не устанавливается неподвижная зона. Тем не менее, предварительное напряжение такого участка имеет преимущество минимальное количество полиэтиленовых матов. Такой процесс обозначается как предварительное термическое напряжение плеч или полиэтиленового мата, см. стр. **Р 5.0**.

Предварительное термическое напряжение предполагает использование Изоплюс стандартов предизолированной трубы и фасонных изделий. Если использовать парово-вакуумные или электротермические устройства, то предписания поставщиков или изготовителей данных устройств также важны.

Методы осуществления предварительного термического напряжения

1. Предварительное термическое напряжение с рабочей средой

Этот метод используется тогда, когда участок предварительного напряжения непосредственно примыкает к существующей сети и спуск воды не является необходимым перед вводом в эксплуатацию трубопровода. Дополнительным требованием является возможность регулирования температуры теплоснабжения до необходимой температуры предварительного напряжения.

Для большой тепловой сети время предварительного напряжения до диаметра Ду 250 относительно небольшое. Если после этого выполнения необходим спуск воды на участке предварительного напряжения, то допустимая температура заполнения должна быть учтена в канализационной системе.

2. Предварительное термическое напряжение с паром

При атмосферном давлении вода кипит при температуре 100°C и образует пар 100°C. Однако для предварительного напряжения необходим пар от 60°C до 75°C. Если при помощи вакуумного насоса понизить давление на 0,4 бар, температура воды снизится до 75°C и образуется пар с такой же температурой, создающий теплоотдачу 756 В/кг.

Принимая во внимание полезность теплоотдачи, пар отдает примерно в пятнадцать раз больше тепла, чем вода. В связи с этим, большим преимуществом этого метода является небольшая потребность в воде и быстрое время прогрева по сравнению с методом(1). Необходимо соблюдать особые требования поставщика устройств.

3. Предварительное термическое напряжение с электричеством

С этим методом, части участка при осуществлении строительных работ без проблем предварительно подвергаются напряжению. Заглушки не требуются, обводной клапан как соединение можно не устанавливать из-за короткого замыкания электричества. Такая форма предварительного напряжения может применяться только при одинаковых размерах в трубопроводе.

Предварительное напряжение при нескольких размерах в трубопроводе невозможно, так как трубы малых диаметров перегреваются. Во время предварительного напряжения можно быть уверенным, что через проходящие электромагнитические поля исключается опасность для людей и устройств. Возможным недостатком может являться необходимый ток питания 380 В. Необходимо соблюдать предписания поставщиков устройств.

Советы по монтажу и процесс выполнения см. стр. **М 10.0** до **М 10.3**

Функция

Если допустимые длины укладки $[L_{\max}]$ будут превышены, осевые растяжения также повысятся пропорционально максимальной величине. Чтобы осевое растяжение не превышалось, не смотря на длину трубопровода, есть возможность ограничить напряжение в открытой траншее.

Как указано выше, в соответствии с материальным законом Гука, растяжения с напряжениями находятся в одинаковом пропорциональном соотношении, см. стр. Р.2.0 формулы (1) - (3). Таким образом, осевое растяжение может быть ограничено при сокращении вдвое разницы температур.

Пример:

Максимальная рабочая температура $[T_B]$ ППУ-теплосети - 130° С, температура грунта $[T_E]$ 10° С, отсюда исходит ΔT - 120 К, длина участка $> L_{\max}$. Для стальной трубы Ст 37.0 действуют при 130° С для E , и R_E , представленных на стр. Р 2.1 постоянные $\Rightarrow E = 2,046 \cdot 10^5$ и $\alpha = 1,26 \cdot 10^{-5}$.

$$(3) \Rightarrow \sigma = E \cdot \alpha \cdot \Delta T \text{ [Н/мм}^2\text{]}$$

$$(\text{Пример. 3}) \Rightarrow \sigma = 2,046 \cdot 10^5 \cdot 1,26 \cdot 10^{-5} \cdot 120 \text{ Ответ: } \sigma = 309,4 \text{ Н/мм}^2$$

E = коэффициент упругости [Н/мм²]

α = коэффициент линейного расширения стали

[1/К] ΔT = разница температур [К]

Допустимое осевое растяжение $[\sigma_{доп}]$ 190 Н/мм² будет превышено. Если трубопровод подвергается предварительному термическому напряжению при температуре 70° С, уменьшается вдвое разница температур и проходящее напряжение.

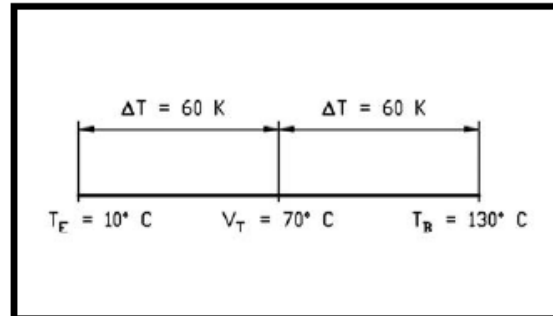
$$\Delta T = \frac{T_B - T_E}{2} \quad [K] \quad (25)$$

$$\Delta T = \frac{130 - 10}{2} = 60 K \quad (\text{Пример 25})$$

$$(3) \Rightarrow \sigma_{vorh} = E \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

$$(\text{Пр. 3}) \Rightarrow \sigma_{vorh} = 2,046 \cdot 10^5 \cdot 1,26 \cdot 10^{-5} \cdot 60$$

$$\text{Ответ: } \sigma_{vorh} = 154,7 \text{ Н/мм}^2$$

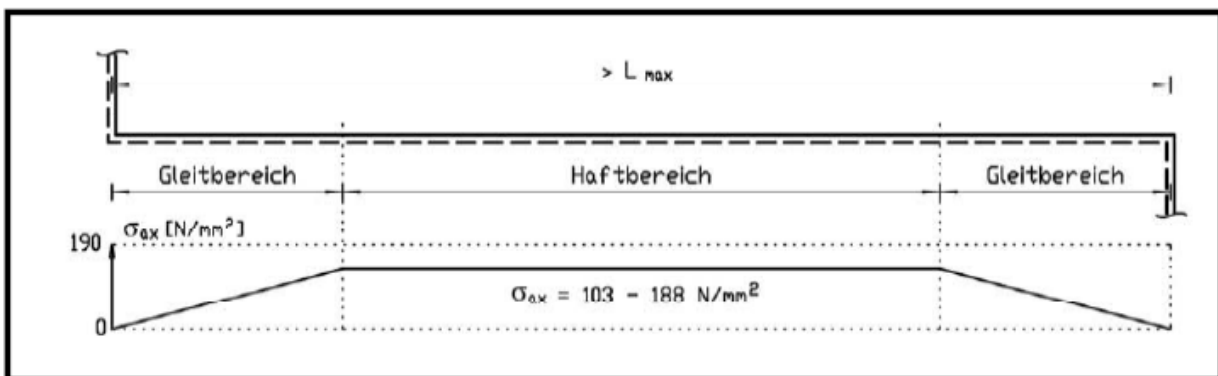


Применяя это на практике и нагревая трассу перед засыпанием песка и заполнением траншеи при температуре предварительного напряжения $[V_T]$, укладываться могут любые длины участков. Так как температурная разница $[\Delta T]$ между V_T и T_B как и между V_T и T_E всегда должна быть одинаково большой, результатом является $T_B = 130^\circ \text{ C}$ осевое растяжение $\approx 155 \text{ Н/мм}^2$.

Меньшие рабочие температуры $[T_B]$ приводят к меньшим напряжениям. Необходимым условием здесь является засыпание и наполнение траншеи при постоянной температуре предварительного напряжения $[V_T]$ в подающем и обратном трубопроводе.

$$V_T = \Delta T + T_E \quad [^\circ \text{C}] \quad (26) \quad \Delta T \Rightarrow (25)$$

Средняя часть участка предварительного напряжения расширяется из-за равновесия сил, и, таким образом, имеет наибольшее осевое усилие. Эти промежуточные длины определяются как площадь адгезии, где все движения подавляются. На обоих концах секции предварительного напряжения, уменьшается напряжение и происходит осевое удлинение. Поэтому, эти две секции называются скользящими областями.



Примеры максимальных осевых напряжений $[\sigma_a]$ в зависимости от ΔT :

$$T_B = 155^\circ \text{ C} \quad \Delta T \Rightarrow (25) = 72,5 \text{ K} \quad V_T \approx 83^\circ \text{ C}$$

$$(3) \Rightarrow \sigma_{vorh} = 2,0260 \cdot 10^5 \cdot 1,28 \cdot 10^{-5} \cdot 72,5 = 188,0 \text{ Н/мм}^2$$

$$T_B = 110^\circ \text{ C} \quad \Delta T \Rightarrow (25) = 50 \text{ K} \quad V_T = 60^\circ \text{ C}$$

$$(3) \Rightarrow \sigma_{vorh} = 2,0620 \cdot 10^5 \cdot 1,25 \cdot 10^{-5} \cdot 50 = 128,9 \text{ Н/мм}^2$$

$$T_B = 90^\circ \text{ C} \quad \Delta T \Rightarrow (25) = 40 \text{ K} \quad V_T = 50^\circ \text{ C}$$

$$(3) \Rightarrow \sigma_{vorh} = 2,0763 \cdot 10^5 \cdot 1,24 \cdot 10^{-5} \cdot 40 = 103,0 \text{ Н/мм}^2$$

Данные укладки:

- ⇒ Рабочая температура [T_B] максимум **155 ° C**
- ⇒ Температура предварительного напряжения в подающем и обратном трубопроводе, минимум **50 ° C** и максимум **83 ° C**
- ⇒ Идентичная температурная разница между температурой грунта и температурой предварительного напряжения, т.е. между максимальной рабочей температурой и температурой предварительного напряжения.
- ⇒ Степень градации номинального давления PN 25
- ⇒ Максимально допустимое осевое напряжение в прямой трубе = **190 Н/мм²**
- ⇒ Постоянная высота покрытия в общей секции предварительного напряжения
- ⇒ Равномерная сила трения [$F \cdot R$] трубы-оболочки через равномерную степень уплотнения песчаного слоя и заливки на общей секции предварительного напряжения.

Если эти значения отрицательно изменяются, в рабочем состоянии могут произойти осевые растяжения, которые в экстремальном случае достигают техники укладки «Производственное самопроизвольное предварительное напряжение». При определенных обстоятельствах, это означало бы, что это приведет к аннулированию гарантии.

Статический расчет трубы производится на основе фактических, специфических для проекта и заданных параметров укладки. Таким образом, длины скольжения используются для определения угла расширения, а разность температур для полного определения полиэтиленового мата.

Тройники в области врезки должны быть рассчитаны по причине ослабления поперечного сечения штока в основной трубе. Сокращение нескольких размеров в области врезки является недопустимым. Для одного размера это возможно по причине быстрой компенсации пиков напряжения.

При параллельных вскрышных работах потеря устойчивости в предварительно напряженных трубопроводах будет предотвращена, если трубопровод работает при температуре предварительного напряжения. До раскопок, однако, следует получить разрешение от Изоплюс, см. стр. **Р 9.0.**

Через передачу плана трубопровода и концепции предварительного напряжения, Изоплюс обеспечивает проверку трубы и разрешение проектирования ППУ-трассы.

Концепция предварительного напряжения

Для того, чтобы обеспечить плавный ход предварительного напряжения, должны быть составлены детальное проектирование и подробный график. Следующие пункты должны быть определены и согласованы:

- Метод выполнения предварительного напряжения
- Классификация каждой секции и их длины
- Направление уклона секций, минимум 3 %
- Возможность подключения воды и электричества для каждой секции
- Место расположения блока
- Расположение песка, измерительного оборудования и закладных частей в каждой секции
- Последовательность и время предварительного напряжения для каждой секции
- Заполняются ответвления или нет
- Какой внутритрубный вентиляционный канал не должен быть забетонирован
- **ВАЖНО:** Продолжительность засыпки калькулируется и согласовывается с инженерным строительством

Компенсация расширения

Для укладки углов поворота внутри предварительно напряженной секции трубопровода, должно быть известно ожидаемое остаточное расширение. Оно зависит от следующих факторов:

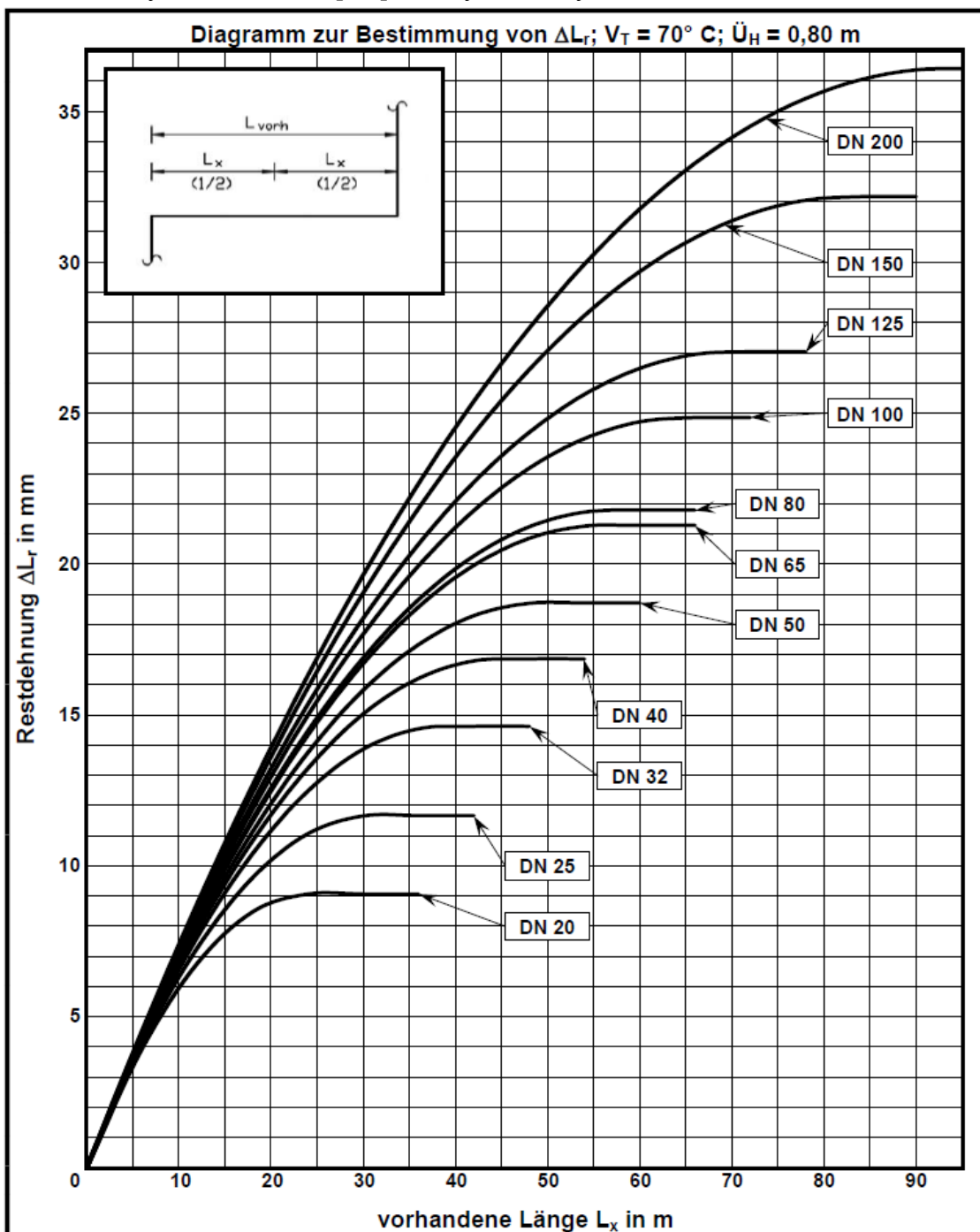
- Поперечная сила $[F'_{el}]$
- Рабочее давление $[p_B]$
- Сила трения $[F'R]$
- Поперечное сечение $[v]$
- Температура предварительного напряжения $[VT]$
- Высота покрытия $[\dot{U}H]$
- Продольная сила внутреннего давления $[F'P]$
- Длина металла $[GBL]$ $[lO]$

Учитывая разнообразие влияний, должен быть выполнен точный и сложный расчет. На практике, однако ΔL_I может определяться, ссылаясь на диаграммы, стр. **Р 4.3.1** и **Р 4.3.2**. Основной в этих диаграммах является AGFW Richtlinie FW 401, часть 10, где представлены точные формулы и вычислительные подходы.

В смешанных системах с и без предварительного напряжения к DSL-определению, линейное расширение $[\Delta L]$ является основополагающим в предварительно напряженных участках.

ГОРЯЧАЯ УКЛАДКА

Остаточное удлинение ΔL_r [мм] для Ду 20 до Ду 200



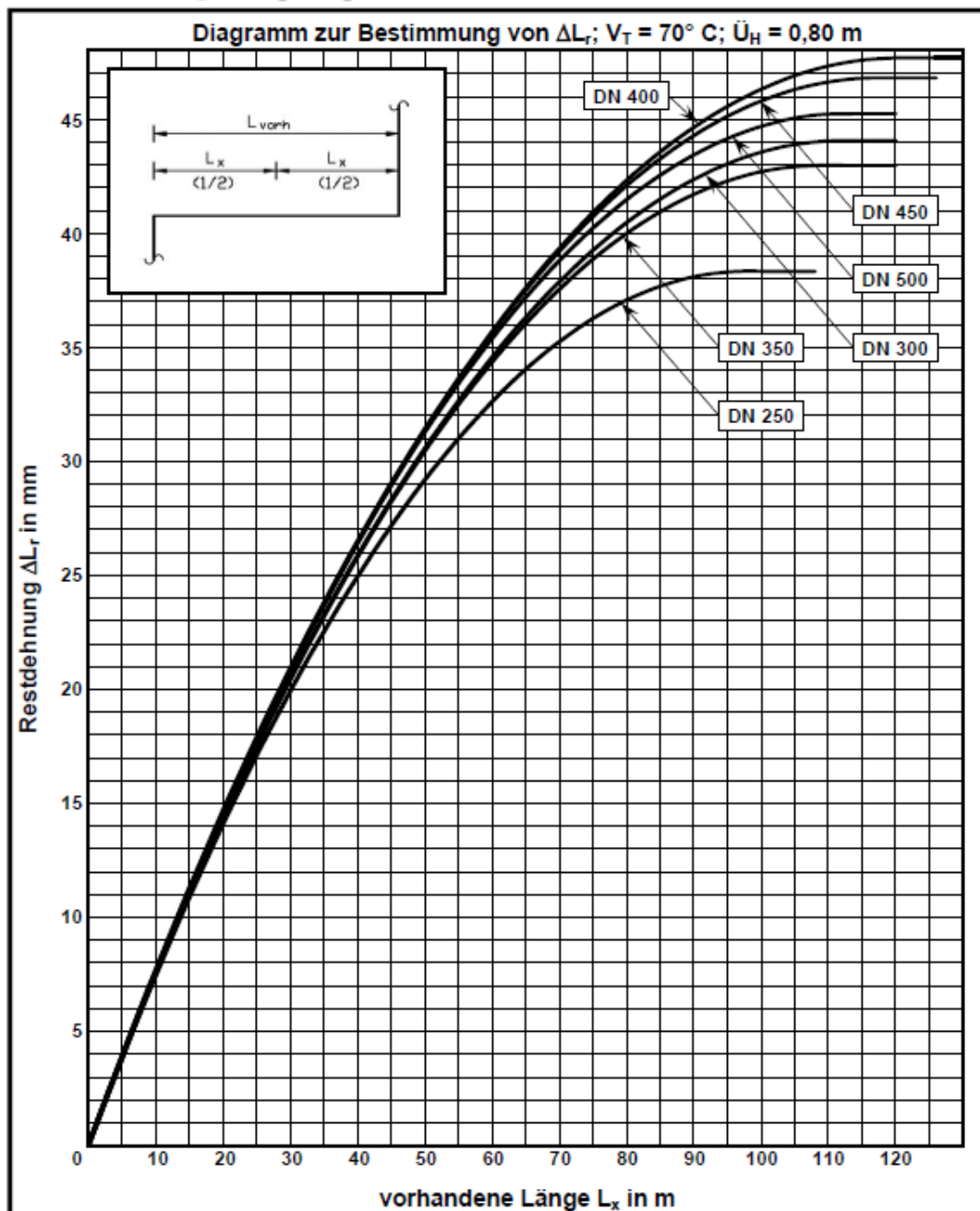
Коэффициент редукции для других $\ddot{U}_H$ и углов см. стр. **Р 3.3**

Определение необходимой толщины полиэтиленового мата $[DP_S]$ см. стр. **Р 3.3.1**

Определение длин плеч $[DS_L]$ Г-, Z- и П-образных отводов см. стр. **Р 3.4 - Р 3.6**

ГОРЯЧАЯ УКЛАДКА

Остаточное удлинение ΔL_r [мм] для Ду 250 до Ду 500



Коэффициент редукии для других $\ddot{U}_H$ и углов см. стр. **Р 3.3**

Определение необходимой толщины полиэтиленового мата $[DP_S]$ см. стр. **Р 3.3.1**

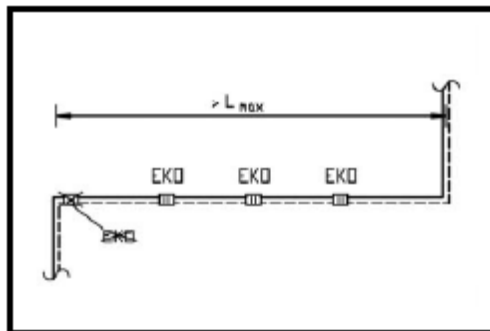
Определение длин плеч $[DS_L]$ L-, Z- и U-отводов см. стр. **Р 3.4 -Р 3.6**

Стартовый компенсатор, система стартовых компенсаторов

Стартовый компенсатор - система предназначена для предварительного термического напряжения трубопроводов Изоплюс при заполненных траншеях. Секции между стартовыми компенсаторами могут быть заполнены, только необходимая смотровая канава стартового компенсатора остается открытой. Следуя правилам, предварительное термическое напряжение происходит с существующей рабочей средой, однако оно также может быть выполнено с подвижными объектами нагрева.

Стартовый компенсатор является приварным элементом ППУ-трубопровода. При нагревании труб происходят изменения их длин, которые также включены в систему стартового компенсатора. При сварке стартовых компенсаторов с направляющими трубами после компенсации расширения достигается предварительное напряжение трубопровода.

Стартовые компенсаторы используются в случае, когда превышены максимально допустимые длины укладки и не могут быть обеспечены естественные элементы расширения из-за стеснённых обстоятельств. В начале и в конце секции стартового компенсатора должен, однако находиться компенсирующий сектор или на одной из сторон располагаться неподвижная опора.



Таким образом, стартовый компенсатор не может быть использован для компенсации расширения в начале или в конце трубопровода. Для того, чтобы достичь предварительного напряжения или ограничения осевого напряжения в заполненных траншеях, в области приварки должен быть расположен стартовый компенсатор. На участках трубопровода, меньше максимально допустимой длины укладки, стартовый компенсатор является неэффективным.

Функция

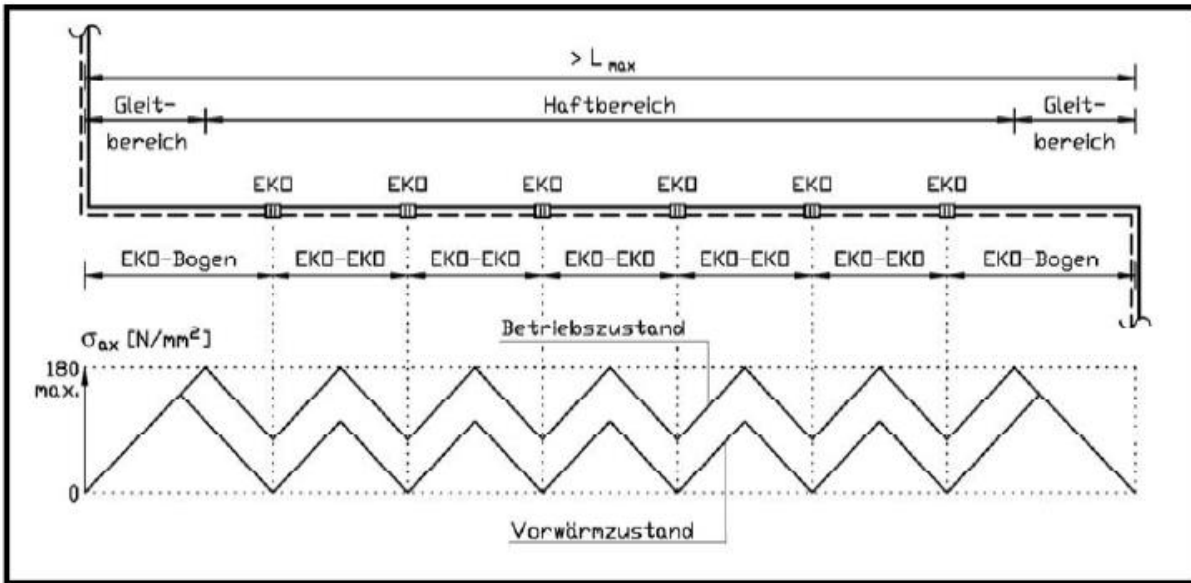
Для того, чтобы ограничить осевое растяжение в обозначенных прямых участках трубопровода, используется стартовый компенсатор. В секции со стартовыми компенсаторами обнаруживаются высокие осевые напряжения при предварительном термическом напряжении системы в открытых траншеях.

Эти термические напряжения преобразуются через систему стартовых компенсаторов при нагревании до допустимых сжимающих напряжений, и при охлаждении до допустимых растягивающих напряжений. После нескольких изменений тепловой нагрузки, пики напряжения уравниваются.

Стартовый компенсатор достигает своего конечного положения, когда оба конца стальной трубы внутри сильфонного элемента и направляющей трубы стыкуются. Это конечное положение заметно по тому, как наружная направляющая труба достигает кольцевой вырезки внутренней направляющей трубы. В этом положении обе направляющие трубы приварены угловым сварным швом.

Таким образом, трубопровод зафиксирован и соединен силовым замыканием так, что в области адгезии не происходит расширяющих движений стальной трубы. Таким образом, должны соблюдаться статика, лежащая в основе и проектируемые меры расстояния.

ГОРЯЧАЯ УКЛАДКА



Статические расчетные данные

- Рабочая температура [ТВ] максимально **140° C**
- Температура предварительного напряжения и начальная температура в подающем и обратном трубопроводе минимум **80° C**
- Максимальное номинальное давление PN 25
- Максимально допустимое осевое напряжение в прямой трубе = **180 Н/мм²**
- Постоянная высота покрытия на общем отрезке системы стартового компенсатора
- Равномерная сила трения [F'R] на трубе-оболочке через степень уплотнения песчаного слоя и насыпного грунта в системе стартового компенсатора.

Когда эти величины отрицательно изменяются, в рабочем положении происходят осевые напряжения, которые в экстремальном случае достигают порядка величины техники укладки и рабочего самопроизвольного предварительного напряжения.

При рабочей температуре **130° C** получаются, приведенные в Таблице на стр. **Р 4.4.2** максимально допустимые расстояния между двумя стартовыми компенсаторами, как и между одним стартовым компенсатором и одним естественным L-, Z- или U-отводом.

Эти значения действуют для почв с удельным весом 19 кН/м², внутренним углом трения $[\varphi]$ 32,5° для сварных или бесшовных стальных труб, согласно DIN 1626/1629, Ст. 37.0, Nr. 1.0254, толщиной стенки в соответствии с гл. на стр. **Р 2.0**. Для других покрытий расстояния интерполируются и уменьшаются дополнительно на 5%.

Компенсация расширения

Für die Auslegung der Dehnungsschenkellängen [DSL] innerhalb eines EKO-Abschnittes muss die zu erwartende Ausdehnung $[\Delta L]$ der Länge „EKO-Bogen“ bekannt sein. Так как это зависит от нескольких параметров, должен быть выполнен точный и сложный расчет см. стр. **Р 4.3**. На практике ΔL основана на диаграмме, приведенной на стр. **Р 3.2.1** и **Р 3.2.2**. Для длины $[L_x]$ используется длина «EKO-Bogen».

Допустимые расстояния стартовых компенсаторов в м, $T_B = 130^\circ\text{C}$

Размеры стальной трубы			Наружный диаметр трубы-оболочки			Расстояние между компенсаторами								
Условный диаметр	Наружный диаметр в мм.	Толщина стенки в мм.				ЎН = 0,80 м			ЎН = 1,20 м			ЎН = 1,60 м		
						Толщина изоляции			Толщина изоляции			Толщина изоляции		
Ду			С	1 х	2 х *	С	1 х	2 х *	С	1 х	2 х *	С	1 х	2 х *
20	26,9	2,3	90	110	125	10	—	—	—	—	—	—	—	—
25	33,7	2,6	90	110	125	15	12	10	10	—	—	—	—	—
32	42,4	2,6	110	125	140	15	13	12	10	—	—	—	—	—
40	48,3	2,6	110	125	140	17	15	14	12	10	—	—	—	—
50	60,3	2,9	125	140	160	21	19	17	14	13	11	11	10	—
65	76,1	2,9	140	160	180	24	21	19	16	14	13	12	11	10
80	88,9	3,2	160	180	200	27	24	22	18	16	15	14	12	11
100	114,3	3,6	200	225	250	31	28	25	21	19	17	16	14	13
125	139,7	3,6	225	250	280	34	31	27	23	21	19	18	16	14
150	168,3	4,0	250	280	315	41	36	32	28	25	22	21	19	17
200	219,1	4,5	315	355	400	47	41	37	32	28	25	24	22	19
250	273,0	5,0	400	450	500	50	44	40	34	31	28	26	23	21
300	323,9	5,6	450	500	560	58	52	47	40	36	32	31	28	25
350	355,6	5,6	500	560	630	57	51	45	40	35	31	30	27	24
400	406,4	6,3	560	630	670	64	57	54	45	40	38	35	31	29
450	457,2	6,3	630	670	710	64	60	56	45	42	40	34	32	30
500	508,0	6,3	670	710	800	65	62	55	46	44	39	36	34	30
600	610,0	7,1	800	900	1000	72	64	58	51	46	41	40	35	32

Размеры стальной трубы			Наружный диаметр трубы-оболочки			Расстояние между компенсаторами								
Условны й диаметр	Наружны й диаметр, в мм	Толщина стенки в мм				ЎН = 0,80 м			ЎН = 1,20 м			ЎН = 1,60 м		
						Толщина			Толщина			Толщина изоляции		
Ду			S	1 х	2 х *	S	1 х	2 х *	S	1 х	2 х *	S	1 х	2 х *
20	26,9	2,3	90	110	125	24	—	—	—	—	—	—	—	—
25	33,7	2,6	90	110	125	34	28	24	23	—	—	—	—	—
32	42,4	2,6	110	125	140	35	31	28	24	—	—	—	—	—
40	48,3	2,6	110	125	140	41	36	32	27	24	—	—	—	—
50	60,3	2,9	125	140	160	50	44	39	33	30	26	25	23	—
65	76,1	2,9	140	160	180	56	49	44	38	33	30	29	25	22
80	88,9	3,2	160	180	200	63	56	51	43	38	34	32	29	26
100	114,3	3,6	200	225	250	73	65	58	49	44	39	37	33	30
125	139,7	3,6	225	250	280	79	71	63	54	48	43	41	37	33
150	168,3	4,0	250	280	315	94	84	75	64	57	51	49	44	39
200	219,1	4,5	315	355	400	108	96	85	74	66	58	56	50	44
250	273,0	5,0	400	450	500	116	103	93	80	71	64	61	54	49
300	323,9	5,6	450	500	560	135	122	108	94	84	75	72	64	57
350	355,6	5,6	500	560	630	132	118	105	92	82	73	70	63	56
400	406,4	6,3	560	630	670	1 49	133	125	104	93	87	80	71	67
450	457,2	6,3	630	670	710	1 48	139	131	103	97	92	80	75	71
500	508,0	6,3	670	710	800	152	144	127	107	101	90	83	78	69
600	610,0	7,1	800	900	1000	1 67	149	134	119	106	95	92	82	74

S = стандартная толщина изоляции 1 х = 1 х усиленная толщина изоляции 2 х = 2 х усиленная толщина изоляции *

ВНИМАНИЕ: При выделенных курсивом размерах труб-оболочек, речь идет об особом изготовлении, возможности поставки следует уточнить.

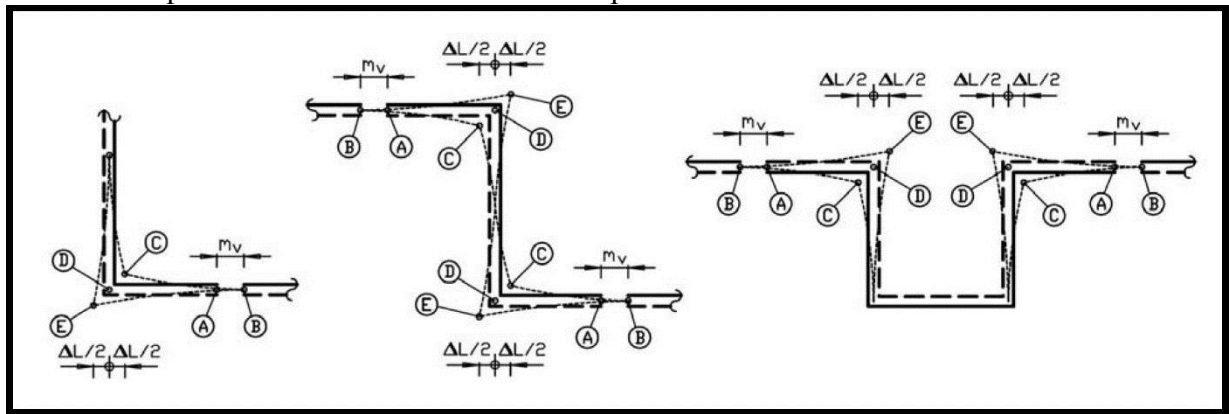
Предварительное напряжение полиэтиленовых матов

Сокращение длин L-, Z- или U-отводов, как и сокращение толщины полиэтиленового мата через предварительное напряжение является одной из аккредитованных техник строительства трубопровода. Такая техника находит применение в наибольших величинах и в специализации технологии «Производственное самопроизвольное предварительное напряжение» см.стр. **Р 2.3.**

В местах, где зафиксированы большие изменения длины или из-за требований размещения компенсируемого участка не может достигнуть статическую расчетную длину, она также находит применение. На практике эта минимизация может быть осуществлена с помощью механического или термического предварительного напряжения. Первичное растяжение трубы не должно быть зафиксировано через полиэтиленовый мат, им будет компенсировано лишь остаточное движение.

Понижающая техника механического предварительного напряжения

1. Полиэтиленовые маты монтируются на L-, Z- или U-отводах в позиции, где отсутствует напряжение. Впоследствии эта область засыпается песком, заполняется и уплотняется.
2. Длина трубчатого стержня или вставной части перед и после участка устанавливается монтажная траншея и заполняются остатки траншеи.



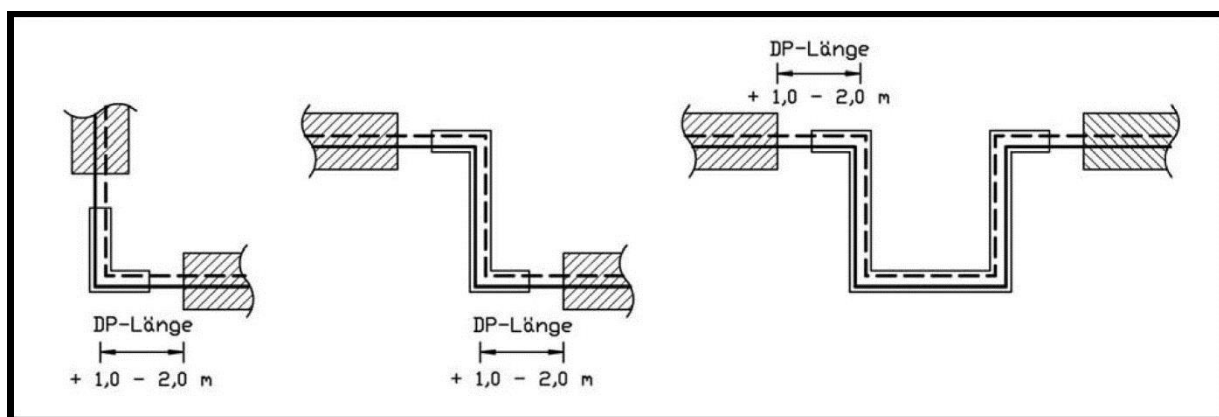
3. На сварном шве в траншее предусматривается смещающий разрыв или вырезается стальное кольцо, соответствующее длине $\Delta L/2$. Это механическое значение предварительного напряжения $[mV]$ устанавливается планом Изоплюс.
4. С подъемным механизмом или домкратом, точка А переместится на точку В и трубопровод сваривается, соединяющая муфта постизолируется и монтажная траншея засыпается, заполняется и уплотняется.
5. Растягиваемый участок проходит предварительное напряжение на 50% и полиэтиленовый мат находится в эксцентричном положении.
6. При нагревании на статической средней температуре 70°C ($T_B = 130^{\circ}\text{C}$) точка С смещается на точку D. В этой позиции участок находится в положении, свободном от предварительного напряжения, так как здесь возникает только одно изменение длины $\Delta L/2$.
7. Другие повышения максимальной рабочей температуры $[T_B]$ 130°C способствуют тому, что точка D перемещается к точке E, что соответствует $\Delta L/2$.

Понижающая техника предварительного термического напряжения

В противоречие к термическому предварительному напряжению в открытых траншеях при предварительном напряжении растягиваемый участок не обязателен. Ход выполнения см. стр. **М 10.0** до **М 10.3**. Вставные части в этом случае необязательны. Далее будут указаны следующие шаги работы.

1 Полиэтиленовые маты монтируются на L-, Z- или П-образных компенсаторах в позициях, где отсутствует предварительное напряжение при холодном трубопроводе и эти области, противоположно механическому предварительному напряжению, не засыпаются, не наполняются и не уплотняются.

2 До 1-2 м до полиэтиленовых матов, должна быть полностью засыпана, заполнена и уплотнена ППУ-трасса, согласно стр. **М 2.3** и **М 2.4**. Открытые участки включены в план

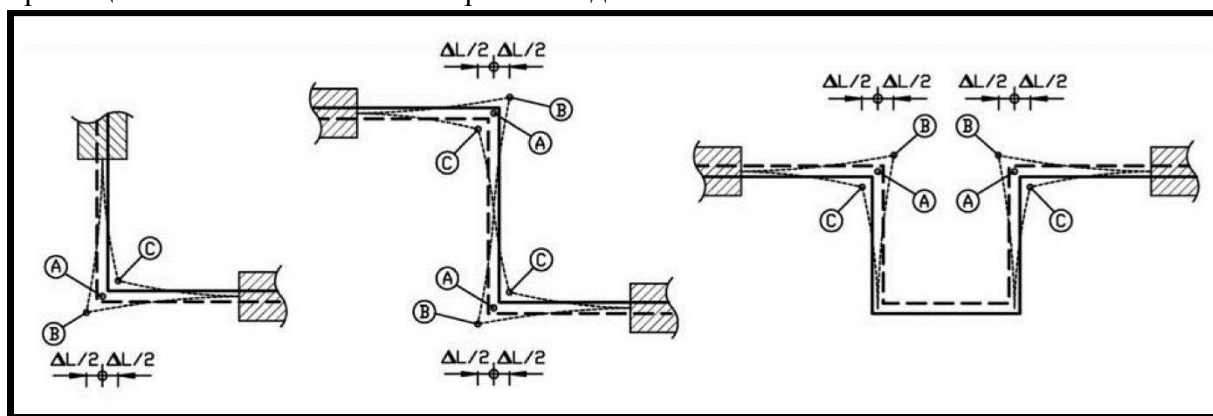


3. После этого сеть вводится в эксплуатацию или с мобильным устройством предварительного напряжения нагревается до фактической температуры предварительного напряжения [VT] 75° C (TB = 140° C).

4. При достижении VT, в открытых областях монтируется песчаное основание для того, чтобы в последующем заполнить и уплотнить траншеи. Температура предварительного напряжения должна при этом оставаться постоянной. Растянутый участок находится в положении, свободном от напряжения.

5. Первое растяжение не должно быть компенсировано полиэтиленовым матом и участок предварительно напряжен на 50%.

6. При нагревании до максимальной рабочей температуры [TB] 140° C точка **A** перемещается к точке **B** на $\Delta L/2$. При охлаждении на 10° C к точке **C** также только на $\Delta L/2$.



7.

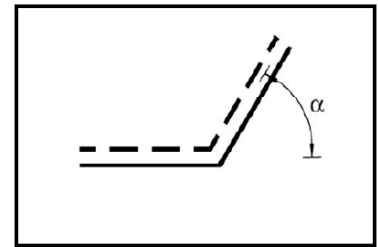
Поворот теплотрассы

Несмотря на тщательное проектирование трубопроводной системы, ни одна система не может быть реализована только за счет статистически удобного элемента трассирования,

90° отвода. Зачастую во время строительства возникают препятствия, которые допускают только незначительное угловое отклонение и требуют технически обоснованных и экономически эффективных решений. В результате небольшого изгиба углы поперечного смещения только в малой степени могут быть компенсированы ПЭ-матами. В зависимости от дополнительного угла $[\alpha]$ имеется больше возможностей решения проблемы.

Нестандартные отводы

Такие отводы устанавливаются только в случае крайней необходимости, так как даже 45° отвод имеет изгиб под действием продольной нагрузки в 1,73 раза больше, а 60° отвод – в 2,35 раза, сравнение см. П. 3.3. Угол $\leq 30^\circ$ поэтому очень ограничен в цели компенсации растяжения. Все нестандартные отводы должны быть статистически проверены и одобрены инженерами-планировщиками isoplus. Физически могут быть произведены любые отводы углом от 5° до 100°.

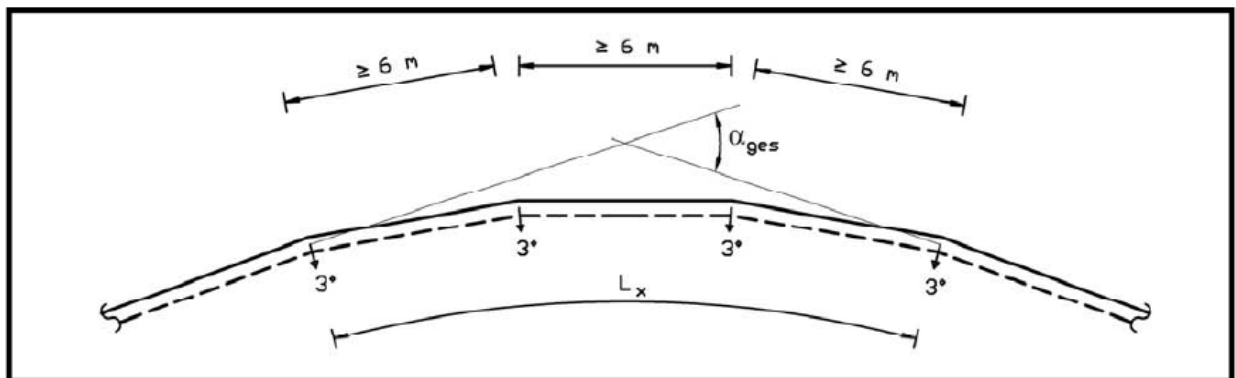


Косой стык

Изгибы в сварном шве открыты для всех вариантов дизайна кроме технологии "Производственное самонапряжение", см. П. 2.3, и допускаются без ограничений или статической проверки угла до 3° и минимальной длины трубы 6 м. В неподвижной области открытой траншеи предварительно термически напряженной теплотрассы изгибы могут быть выполнены до максимум 5°. В области излома пик напряжения концентрируется прямо на сварном шве. Поэтому швы представляют собой крайне нагруженный элемент.

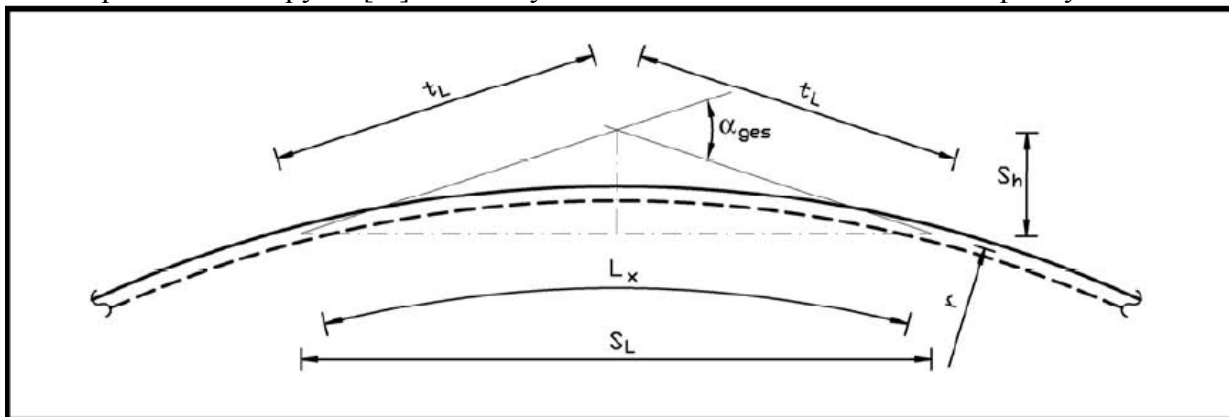
Максимально допустимый угол изгиба также ограничен используемой технологией ПЭПВ-муфт. При стандартной или раздвижной муфте угол не может составлять более 3°. Количество необходимых шестиметровых труб и общая длина $[L_x]$ зависит от угла отклонения $[\alpha_{ges}]$.

$$L_x = (\alpha_{ges} / 3) \cdot 6 \text{ [м]} \quad (27)$$



Эластичный изгиб

Данная техника не имеет ограничений и допустима без статистической проверки. Эластично изогнутые области статистически рассматриваются как прямые трубопроводы. В области изменения направления предпочтительно сваривать трубы вне траншеи. После этого данный участок трубы будет заложен в траншею и эластично деформирован. В связи с различными моментами сопротивления минимальные радиусы изгиба зависят от диаметра стальной трубы $[d_a]$. Поэтому нельзя отклоняться от заданных радиусов.



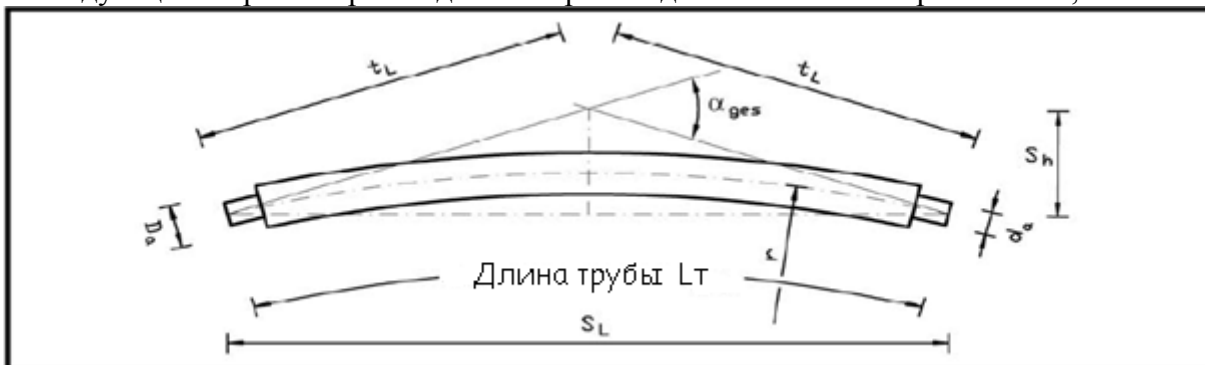
Допустимые радиусы изгиба $[r]$ и углы изгиба $[\alpha]$ в зависимости от диаметра стальной трубы $[d_a]$:

Параметры стальной трубы		Макс. допустимый угол изгиба		Миним. радиус изгиба r , м	Круговой сегмент при r_{min} и 12,00 м		
Внутр. диаметр DN	Наруж. диаметр d_a , мм	6,00 м труба α , °	12,00 м труба α , °		Длина секущей S_L , м	Высота сегмента S_h , м	Длина касательной t_L , м
20	26,9	19	Не подлежит поставке	18,09	5,97 (6 м)	0,25 (6 м)	3,03 (6 м)
25	33,7	15	Н.п.п.	22,92	5,98 (6 м)	0,20 (6 м)	3,02 (6 м)
32	42,4	13	26	26,44	11,90	0,68	6,11
40	48,3	11	22	31,26	11,93	0,57	6,08
50	60,3	10	20	34,38	11,94	0,52	6,06
65	76,1	8	16	42,97	11,96	0,42	6,04
80	88,9	7	14	49,11	11,97	0,37	6,03
100	114,3	5	10	68,76	11,98	0,26	6,02
125	139,7	4	8	85,94	11,99	0,21	6,01
150	168,3	3	6	114,59	11,99	0,16	6,01
200	219,1	2,5	5	137,51	12,00	0,13	6,00
250	273,0	2,5	5	137,51	12,00	0,13	6,00
300	323,9	Н.п.п.	4	171,89	12,00	0,11	6,00
350	355,6	Н.п.п.	3	229,18	12,00	0,08	6,00
400	406,4	Н.п.п.	3	229,18	12,00	0,08	6,00
450	457,2	Н.п.п.	3	229,18	12,00	0,08	6,00
500	508,0	Н.п.п.	3	229,18	12,00	0,08	6,00

Количество труб $[n]$, радиусы изгиба $[r]$ и углы изгиба на трубу $[\alpha]$, также как и размеры кругового сегмента $[L_x]$, $[S_L]$, $[S_h]$ и $[t_L]$ указаны в П. 6.3.

Гнутая труба

Произведенные на заводе гнутые трубы пригодны для любых вариантов укладки. Благодаря изгибу, такие трубы могут быть приспособлены для любого индивидуального проекта по укладке труб, будь то L-, Z- или U-укладка, также как и нисходящая или восходящая укладка. Со стороны статистики, гнутая труба не подвергается большому напряжению, чем прямая труба, а поэтому считается идеальным вариантом для строительства изогнутых трасс. Чтобы избежать потери продольной устойчивости, в области изгиба грунт играет роль опоры или фундамента. Поэтому последующее вскрытие трассы должно происходить с особой осторожностью, см. П. 9.0.



Допустимые радиусы изгиба [r] и углы изгиба [α] в зависимости от диаметра стальной трубы [da]:

Параметры стальной трубы		Макс. допустимый угол изгиба		Миним. радиус изгиба r, м	Круговой сегмент при r _{min} и 12,00 м		
Внутр. диаметр DN	Наруж. диаметр d _a , мм	6,00 м труба α , °	12,00 м труба α , °		Длина секущей S _L , м	Высота сегмента S _h , м	Длина касательной t _L , м
20	26,9	41	nicht lieferbar	8,39	5,87 (6 m)	0,53 (6 m)	3,14 (6 m)
25	33,7	27	n.L.	12,73	5,95 (6 m)	0,35 (6 m)	3,06 (6 m)
32	42,4	26	52	13,22	11,59	1,34	6,45
40	48,3	22	44	15,63	11,71	1,14	6,31
50	60,3	20	40	17,19	11,76	1,04	6,26
65	76,1	18	36	19,10	11,80	0,94	6,21
80	88,9	17	34	20,22	11,83	0,88	6,18
100	114,3	16	32	21,49	11,85	0,83	6,16
125	139,7	13	26	26,44	11,90	0,68	6,11
150	168,3	11	22	31,25	11,93	0,57	6,08
200	219,1	9	18	38,20	11,95	0,47	6,05
250	273,0	9	18	38,20	11,95	0,47	6,05
300	323,9	n.L.	15	45,84	11,97	0,39	6,04
350	355,6	n.L.	15	45,84	11,97	0,39	6,04
400	406,4	n.L.	8	85,95	11,99	0,21	6,01
450	457,2	n.L.	8	85,95	11,99	0,21	6,01
500	508,0	n.L.	8	85,95	11,99	0,21	6,01

Для производства необходимо указать угол изгиба [α], радиус [r] и направление изгиба в левую или правую сторону (в зависимости от СОДК). Количество труб [n], радиусы изгиба [r] и углы изгиба на трубу [α], также как и размеры кругового сегмента [L_x], [S_L], [S_h] и [t_L] указаны в П. 6.3.

Расчеты: гнутая труба и эластически изогнутая труба

Через дополнительный угол [α_{ges}] можно рассчитать длину изгиба [L_x]. Обычно угол [α_{ges}] указывается в плане трассы, данном застройщиком или эксплуатационником. Количество труб можно рассчитать по:

$n = \alpha_{ges} / \alpha_{max}$	(28)	Пример: DN 125, 12 м
Длину изгиба $[L_x]$ по:		$n = 70 / 27 = 2,59 \approx 3$ трубы
$L_x = n \cdot L_{труб} [м]$	(29)	$L_x = 3 \cdot 12 м = 36 м$
или		
$L_x = (\alpha_{ges} \cdot \pi \cdot r) / 180 [м]$	(30)	$L_x = (70 \cdot \pi \cdot 29,48) / 180 = 36 м$
Радиус изгиба $[r]$ по:		$\pi = 3,1416 [-]$
$r = (L_x \cdot 180) / (\pi \cdot \alpha_{ges}) [м]$	(31)	$r = (36 \cdot 180) / (\pi \cdot 70) = 29,47 м$
Длину касательной $[t_L]$ по:		
$t_L = (L_x \cdot 57,3 / \alpha_{ges}) \cdot \tan (\alpha_{ges} / 2) [м]$	(32)	$t_L = (36 \cdot 57,3) / 70 \cdot \tan (70 / 2) = 20,63 м$
Угол $[\alpha]$ на 1 трубу по:		$57,3 = \text{Постоянная } [-]$
$\alpha_T = \alpha_{ges} / n [^\circ]$	(33)	$\alpha_T = 70 / 3 = 23,33^\circ$ на 1 трубу
Длину секущей $[s_L]$ по:		
$s_L = 2 \cdot r \cdot \sin (\alpha_{ges} / 2) [м]$	(34)	$s_L = 2 \cdot 29,47 \cdot \sin (70 / 2) = 33,80 м$
Высоту сегмента $[s_h]$ по:		
$s_h = r - \sqrt{(r^2 - s_L^2 / 4)} [м]$	(35)	$s_h = 29,47 - \sqrt{(29,47^2 - 33,80^2 / 4)} = 5,33 м$

Тройники

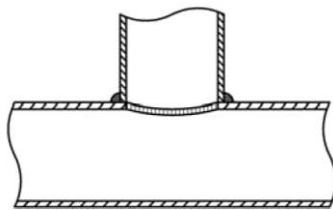
Для вывода трубопровода к зданию и распределения мощности потока воды в магистрали предусматриваются тройники. В зависимости от рельефа местности и необходимости спуска воды или развоздушивания, тройники могут быть установлены ответвлением вверх или вниз. Следует отметить, что глубина заложения и высота засыпки грунта при этом изменятся в соответствии с главой о монтаже стр. М 2.1.1.

Так как тройники представляют собой сильно нагруженные элементы предизолированной трубы, форма ответвления выбирается в соответствии с длиной ответвления. В принципе, каждое тройниковое ответвление и параллельный тройник рассчитываются на прочность при помощи современного программного обеспечения, которое подтверждает расчеты. При ответвлении одного и того же номинального диаметра, условного прохода или меньшего размера, может быть необходимо, чтобы тройники устанавливались в соответствии с DIN 2615.

При изготовлении предизолированных тройников различают три типа:

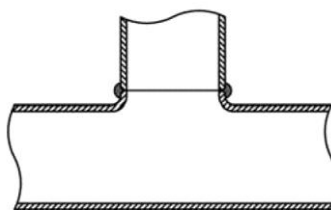
В то же время существуют три вида исполнения:

Сварные



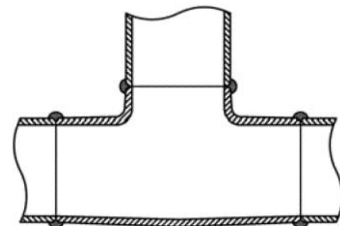
Ответвление
приваривается к
основной трубе

Вытянутые



Из основной трубы
вытягивается горловина

DIN 2615

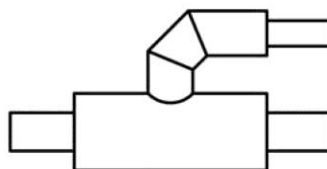


Сварка готового тройника по
DIN 2615

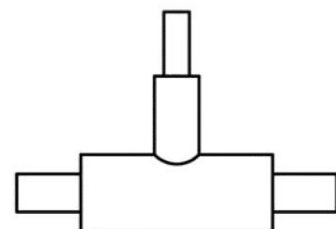
Тройник 45°

Параллельный тройник

Тройник с вертикальным
ответвлением



Выходит параллельно и под
углом 90°



Выходит вертикально от
основной трубы

На Изоплюс все стальные тройники изготавливаются методом вытягивания горловины из основной трубы. Ответвление с таким же размером, что и у основной трубы делается методом сварки в соответствии с DIN 2615 T 1, в зависимости от толщины стенки трубы в последовательности 2 или 3.

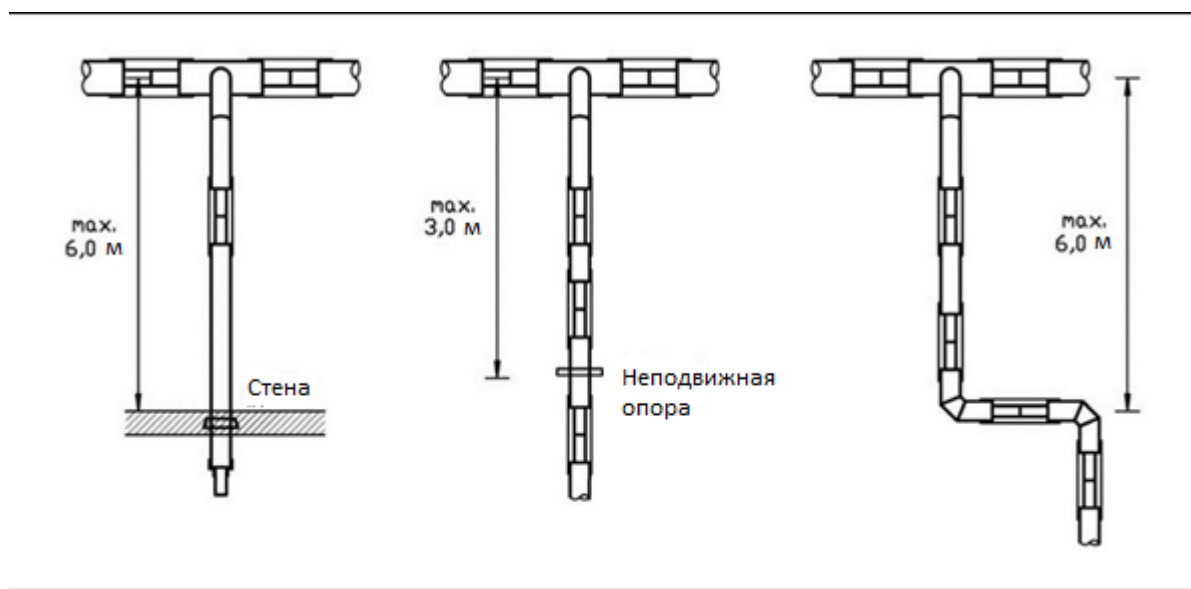
Тройники по типу вытягивания горловины или тройники по типу DIN предлагают однозначные резервы безопасности. По AGFW FW 401, часть 10, для трех типов изготовления действительны следующие факторы увеличения напряжения:

i	Приваренные		Вытянутые		DIN 2615	
	Магистраль	Ответвление	Магистраль	Ответвление	Магистраль	Ответвление
iN	$k \cdot 1,2$	$k \cdot 1,0$	$k \cdot 0,8$	$k \cdot 0,7$	$k \cdot 0,7$	$k \cdot 0,4$
ki	$k \cdot 1,0$	$k \cdot 1,0$	$k \cdot 0,7$	$k \cdot 0,7$	$k \cdot 0,6$	$k \cdot 0,4$
iMx	$k \cdot 2,0$	$k \cdot 1,0$	$k \cdot 1,4$	$k \cdot 0,7$	$k \cdot 1,2$	$k \cdot 0,4$
io	$k \cdot 1,0$	$k \cdot 1,0$	$k \cdot 0,7$	$k \cdot 0,7$	$k \cdot 0,6$	$k \cdot 0,4$
lO	$k \cdot 1,3$	$k \cdot 1,0$	$k \cdot 0,9$	$k \cdot 0,7$	$k \cdot 0,775$	$k \cdot 0,4$
iOE	2,300		1,600		1,175	
%	100 %		- 30,5 %		- 49 %	

Это означает, что тройник с вытянутой горловиной на 30% и тройник типа DIN 2615 на 49% надежнее по сравнению со сварным тройником.

Тройниковое ответвление

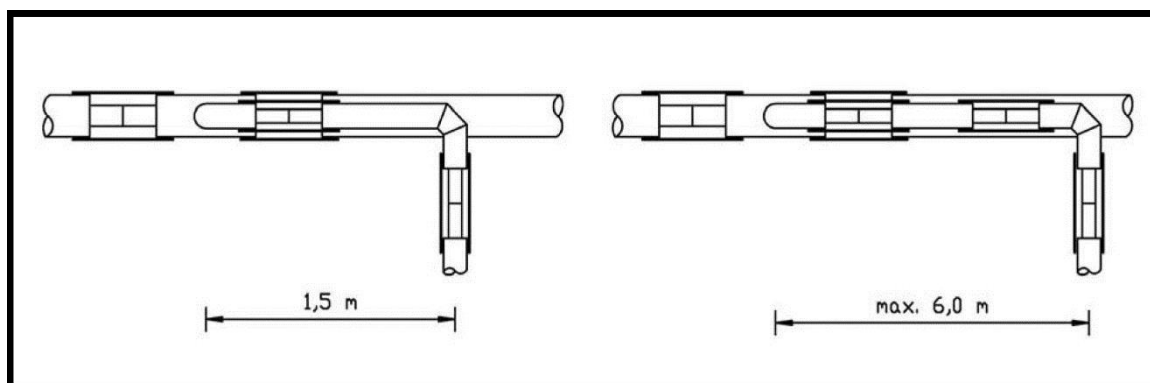
Такие тройники представляют собой традиционные варианты для подвода теплотрассы к зданию в зависимости от соотношения диаметров магистрали и ответвления. Из-за отсутствия возможности компенсирования на тройниковом ответвлении и независимо от рабочей температуры при больших длинах выхода трубы макс. 3 м должна быть установлена неподвижная опора или на длине 6 м должен располагаться Z-образный элемент. Размеры тройникового ответвления указаны на стр. **В 3.1**.



Параллельный тройник

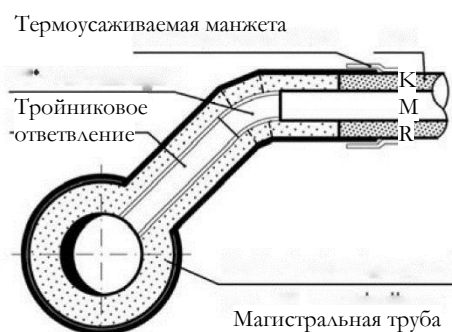
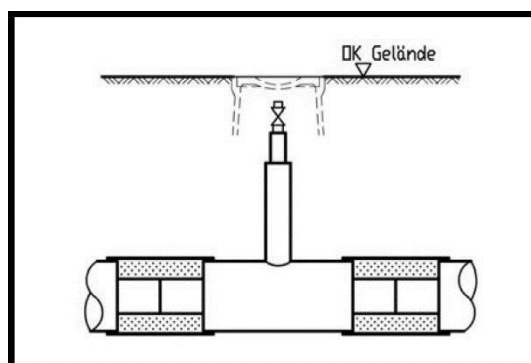
При длинном подводе трубопровода к жилому объекту или боковом ответвлении от магистральной теплотрассы устраиваются параллельные тройники, автоматически образующие Г-образный отвод, который защищает тройник от расширяющего движения и суммы сил от магистрального трубопровода. В большинстве применяемых случаев трубы должны укладываться параллельно на отрезке не более 1,5 м. Если для больших проектов длина параллельно лежащих труб все же должна быть больше, то в зависимости от соотношения размеров основной трубы и ответвления длина ограничивается максимально 6 м.

На практике надежно производить укладку на отрезке 1,5 м длиной 1 м x 1 м с углом 90°. Преимуществом тут является то, что на этом параллельном отрезке необходимо обеспечить только сварной шов и соединительную муфту. Муфта может быть усажена при длине тройника 1,00 м. Размеры параллельного тройника указаны на странице В 3.2



Тройники используются как правило для спуска воды или развоздушивания. По причине отсутствия выходов теплотрассы при расчетах на прочность ими можно пренебречь. Однако встраивание Г-, Z- и П-образных элементов недопустимо из-за происходящих в изгибах напряжений.

Многие вводы трубопровода в жилые объекты в последствие включаются в магистральные трассы, находящиеся в эксплуатации. С техникой бурения — это возможно без прерывания теплоснабжения. Тип выхода может быть выбран как аналог тройникового ответвления или параллельного тройника. Статически бурение следует рассматривать как сварной тройник. Предизоляция этих сборочных частей осуществляется с произведенным в заводских условиях полиэтиленовым ответвлением.



Неподвижная опора

Благодаря естественным углам поворота на ППУ-теплотрассе, показанных на странице Р 2.2, конструктивные неподвижные опоры в большинстве случаев излишни. При проектировании можно почти всегда избежать установки неподвижных опор. Так как на неподвижных опорах труба-оболочка прорезана, данные места являются слабыми местами теплотрассы.

При установке неподвижной опоры сокращается допустимая длина укладки $[L_{\max}]$ на L_{zul} или $L_{\max}/2$. Так как неподвижные опоры подвергаются большой нагрузке, их следует избегать. Неподвижные опоры наружным диаметром 325 и более в сочетании с технологией "Производственного предварительного напряжения" (см. стр. Р 2.3), в принципе, из-за несоразмерно больших сил в редких случаях на практике подвергаются управлению.

Неподвижные опоры все же предусматриваются при наличии следующих исключительных случаев:

- Для определения направления растяжения, например, до строительного-технического сокращения растяжения трубы или отвода $<30^\circ$
- Для защиты стеновых проникновений, которые подвержены большим осевым растяжениям. Стены сооружений и домов являются непригодными в качестве заземляющих конструкций. Между стеной и бетонным блоком соблюдается минимальное расстояние 2,00 м.
- При сложном участке земли, как например экстремальный наклон, для предотвращения скольжения трубопровода. Здесь необходимо учитывать износ склона и собственный вес трубопровода, кроме того, эти силы должны быть добавлены к F_{FP} .
- Для фиксации дымохода в середине секции и перед входом к зданию для предотвращения движения трубопровода при внезапном изменении температуры.
- При переходах различных технологий, например, от термического предварительного напряжения в открытых траншеях к системе стартовых компенсаторов или другому типу укладки, указанных на странице Р 9.1.
- Если нет никаких требований относительно возникающих сил на поверхности бетонного блока, то применяются минимальные размеры бетонных блоков. Минимальная ширина $[B_{min}]$ рассчитывается следующим образом:

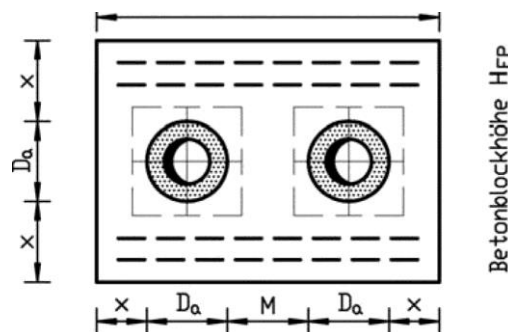
$$B_{min} = n_r * D_a + 2 * x + (n_r - 1) * M [m] \quad (36)$$

(Пример 36) $\rightarrow B_{min} = 2 * 0.25 + 2 * 0.20 + (2 - 1) * 0.20 [m]$ Ответ: $B_{min} = 1,10 m$

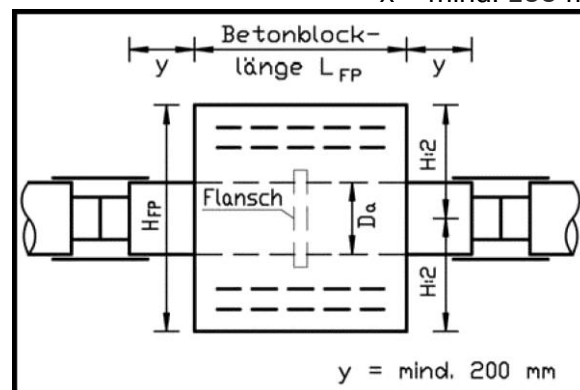
D_a = Диаметр трубы-оболочки [м] x = Mindest-Betonüberstand bzw. -futter [м]

n_r = Количество трубопроводов [-] M = Минимальное расстояние монтажа [м]

Подающий+обратный трубопроводы = 2 в соответствии с гл. на стр. М 2.2



$x = \text{mind. } 200 \text{ mm}$



$y = \text{mind. } 200 \text{ mm}$

Для определения минимальной высоты $[H_{min}]$ действует простая формула сложения, при различных диаметрах труб-оболочек $[Da]$ здесь применяется наибольший.

$$H_{min} = D_a + 2 * x[m] \quad (37)$$

(Пример 37) $\rightarrow H_{min} = 0.25 + 2 * 0.20[m]$ Ответ: $H_{min} = 0,65$ м

Минимальные размеры бетонных блоков определенные в соответствии с формулами (36) и (37), независимо от данных конкретных проектов, всегда необходимы. Для длины бетонного блока $[L_{min}]$ применяются минимальные размеры, приведенные в таблице. Эта таблица применима для двух труб с одним диаметром трубы-оболочки $[D_a]$ и стандартной

Стальная труба		Труба-оболочка	Минимально расстояние при монтаже	Минимальные размеры бетонных блоков				Арматура	
Номинальный диаметр	Наружный диаметр			Ширина	Высота	Длина	Торцевая сторона	Число	Диаметр
	da	Da	M	Bmin	Hmin	Lmin	AFPmin	nFe	0Fe
DN	в мм	в мм	в мм	в мм	в мм	в мм	в мм	в	в мм
20	26,9	90	150	0,73	0,49	0,80	0,36	2	8
25	33,7	90	150	0,73	0,49	0,80	0,36	2	8
32	42,4	110	150	0,77	0,51	0,80	0,40	2	8
40	48,3	110	150	0,77	0,51	0,80	0,40	2	8
50	60,3	125	150	0,80	0,53	0,80	0,43	2	8
65	76,1	140	150	0,88	0,54	0,80	0,48	2	8
80	88,9	160	200	0,92	0,56	0,80	0,52	2	8
100	114,3	200	200	1,00	0,60	0,80	0,60	2	8
125	139,7	225	200	1,05	0,63	0,80	0,67	4	8
150	168,3	250	200	1,10	0,65	0,80	0,72	4	8
200	219,1	315	300	1,33	0,72	1,00	0,96	6	10
250	273,0	400	400	1,50	0,80	1,00	1,20	6	10
300	323,9	450	400	1,70	0,85	1,00	1,45	6	10

Детали неподвижной опоры показаны на стр. В 4.0, Монтаж показан на стр. М 3.6.

толщиной изоляции.

Неподвижная опора при холодной укладке

Для трех методов холодной укладки (холодная укладка, обычная укладка и оперативное автоматическое смещение) см. стр. Р 1.1, на самом деле эффективная сила неподвижной опоры $[F_{FPKV}]$ зависит от длины участка трассы $[L_x]$ и силы трения $[F_R]$. (см. стр. Р 3.0 (14)).

$$F_{FPKV} = L_x \cdot F_R \cdot n_R \cdot f_\mu [kN] \quad (38)$$

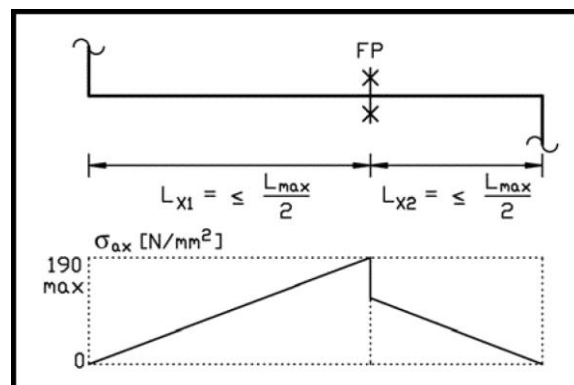
$$F_{FPKV} = 50 * 4.194 * 2 * 0.85 [kN] \quad (\text{Пример 38})$$

$$\text{Ответ: } F_{FPKV} = 356.49 \text{ kN} \quad (\text{Пример 38})$$

n_R = количество трубопроводов [-]

f_μ = понижающий коэффициент (0,85) для коэффициента силы трения $[\mu]$ между бетоном и почвой с учетом веса блока.

Для промежуточных неподвижных опор применяется расчет с итоговой разницей в длине между L_{x1} и L_{x2} . Сила трения F_R в зависимости от высоты засыпки грунта указана на странице Р 8.2.



Сила трения F'_R в кН/м

Размеры стальной трубы			Наружный диаметр трубы-оболочки Da в мм			F_к при bei Überdeckungshöhe [Ü _H] von Oberkante, OK-Mantelrohr (MR) bis OK-Gelände								
Номиналь ный диаметр	Наружны й диаметр	Толщина стенки R 2.0				ÜH = 0,80 m			ÜH = 1,20 m			ÜH = 1,60 m		
			Толщина изоляции			Толщина изоляции			Толщина изоляции			Толщина изоляции		
DN	da в мм		S	1 x	2 x *	S	1 x	2 x *	S	1 x	2 x *	S	1 x	2 x *
20	26,9	2,3	90	110	125	1,33	1,64	1,88	1,95	2,41	2,75	2,58	3,17	3,62
25	33,7	2,6	90	110	125	1,33	1,65	1,89	1,96	2,41	2,75	2,58	3,17	3,62
32	42,4	2,6	110	125	140	1,65	1,89	2,14	2,41	2,76	3,11	3,18	3,63	4,08
40	48,3	2,6	110	125	140	1,65	1,89	2,14	2,42	2,76	3,11	3,18	3,63	4,08
50	60,3	2,9	125	140	160	1,90	2,15	2,48	2,77	3,12	3,59	3,64	4,09	4,70
65	76,1	2,9	140	160	180	2,16	2,49	2,83	3,13	3,60	4,07	4,10	4,71	5,32
80	88,9	3,2	160	180	200	2,50	2,84	3,19	3,61	4,09	4,57	4,72	5,33	5,96
100	114,3	3,6	200	225	250	3,21	3,65	4,11	4,60	5,21	5,84	5,99	6,77	7,58
125	139,7	3,6	225	250	280	3,68	4,13	4,69	5,24	5,87	6,64	6,80	7,60	8,58
150	168,3	4,0	250	280	315	4,19	4,73	5,41	5,91	6,67	7,59	7,64	8,62	9,78
200	219,1	4,5	315	355	400	5,49	6,29	7,22	7,67	8,75	9,99	9,86	11,21	12,77
250	273,0	5,0	400	450	500	7,33	8,40	9,53	10,10	11,53	13,00	12,88	14,65	16,47
300	323,9	5,6	450	500	560	8,53	9,65	11,06	11,65	13,12	14,95	14,77	16,59	18,83

S = стандартная толщина изоляции 1 x = 1 x усиленная толщина изоляции 2 x = 2 x усиленная толщина изоляции *

ВНИМАНИЕ: При выделенных курсивом диаметров труб-оболочек речь идет о заказных изделиях, о наличии следует уточнять заранее.

Указанные в таблице значения основаны на основе AGFW-директива FW 401 часть 10 и действительны для оснований с удельным весом 19 кН / м³, внутренним углом трения грунта $[\varphi]$ 32,5 °, а также для черных стальных труб, материала St 37,0, WB или S (приваренные или бесшовные), № 1,0254, толщиной стенки труб согласно стр. R 2.0. Для других высот засыпки грунта F_R определяется при необходимости isoplus.

Торцевая сторона бетонного блока

Сила неподвижной опоры F_{FPKV} должна быть перенесена на торцевую сторону бетонного блока на грунте, а именно на песчаной подложке. Для уплотненного, несвязанного средне и крупнозернистого грунта (класс NS 0/2 DIN 4226) допустимой является прочность на сжатие $[\sigma_E] = 150 \text{ кН/м}^2$. Таким образом, торцевая сторона $[A_{FP}]$ определяется с учетом рассматривания поверхности трубы-оболочки:

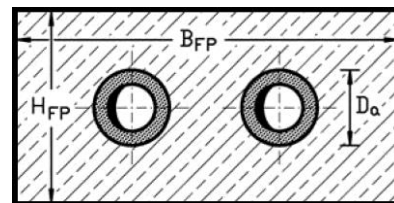
$$A_{FP} = \frac{F_{FPKV}}{\sigma_E} + \frac{D_a}{2} * \frac{D_a}{2} * \pi * n_R [m^2] \quad (39)$$

$$A_{FP} = \frac{356.49}{150} + \frac{0.25}{2} * \frac{0.25}{2} * 3.1416 * 2 [m^2] \quad (\text{Пример 39})$$

$$\text{Ответ: } A_{FP} = 2.38 + 0.10 = 2.48 m^2 \quad (\text{Пример 39})$$

D_a = диаметр трубы-оболочки [м] $\pi = 3.1416 [-]$

n_R = число трубопроводов $[-]$



Ширина [B] и высота [H] бетонного блока, учитывая минимальные размеры, определяется согласно стр. P 8.1

$$B_{FP} = \frac{A_{FP}}{H_{min}} [m] \quad (40)$$

$$\text{Пример 40} \rightarrow B_{FP} = 2.48 : 0.65 [m]$$

$$\text{Ответ: } B_{FP} = 3.82 m.$$

$$\text{Или} \rightarrow B * H = 2.50 m * 1 m.$$

Неподвижная опора при горячей укладке

Для устройства неподвижных опор на тепловых преднапряженных участках, при горячей укладке (термическое преднапряжение + система стартового компенсатора) см. стр. Р 1.1, сила неподвижной опоры $[F_{FPWV}]$ рассчитывается по формуле:

$$F_{FPWV} = A * \sigma_{vorh} * n_R * f_{\mu} [H] \quad (41)$$

)
 $F_{FPWV} = 2.064,66 * 154,7 * 2 * 0,85 [H] \quad \text{Пр. 41}$

Ответ: $F_{FPWV} = 542.985 \text{ Н}$ или $542,99 \text{ кН}$

A = сечение стальной трубы $[мм^2]$

→(6), см. стр. Р 2.2

σ_{vorh} = допустимая осевая деформация $[Н/мм^2] \rightarrow (3)$, см. стр. Р 4.1.1

Например, при $T_B = 130^\circ \text{ C} + V_T = 70^\circ \text{ C}$

n_R = число трубопроводов $[-]$

f_{μ} = коэффициент понижения мощности (0,85) для коэффициента силы трения $[\mu]$ между бетоном и почвой с учетом веса блока

Торцевая сторона бетонного блока $[A_{FP}]$ рассчитывается как → (39).

$$A_{FP} = \frac{542,99}{150} + \frac{0,25}{2} * \frac{0,25}{2} * 3,1416 * 2 [м^2] \quad \text{Пример 39}$$

Ответ: $A_{FP} = 3,62 + 0,10 = 3,72 \text{ м}^2 \rightarrow V_{FP} \cdot H_{FP} = \text{например, } 3,72 \text{ м} \cdot 1,00 \text{ м}$

Длина бетонного блока

Для установления требуемой длины $[L_{FP}]$ бетонного блока должна быть известна сила трения подложки $[S'R]$. Она, в свою очередь, рассчитывается исходя из общего веса $[G_{FP}]$ бетонного блока и высоты засыпки грунта.

$$G_{FP} = B * H * \sigma_B + B * h_E * \rho_E [кН/м] \quad (42)$$

$$G_{FP} = 3,72 * 1,00 * 24 + 3,72 * 0,425 * 19 [кН/м]$$

Ответ: $89,28 + 30,04 = 119,32 \text{ кН/м}$ (Пример 42)

ρ_B = удельный вес бетона $[кН/м^3]$

ρ_E = удельный вес почвы $[кН/м^3]$

h_E = Высота в свету от отметки земли до бетонного блока $[м] = (\ddot{U}_H + D_a : 2) - (H_{FP} : 2)$
например, $(0,8 + 0,25 : 2) - (1,00 : 2) = 0,425 \text{ м}$.

$\ddot{U}_H$ = Высота засыпки грунта $[м]$

D_a = Наружный диаметр ПЭ-оболочки $[м]$

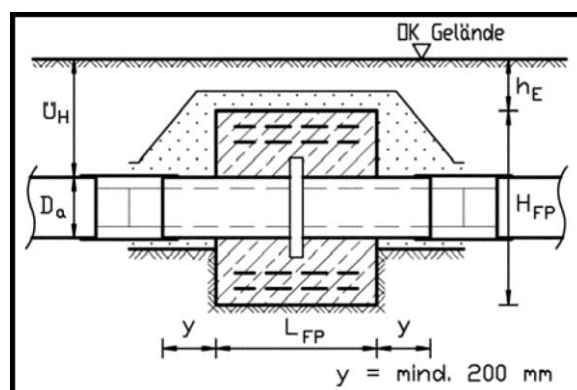
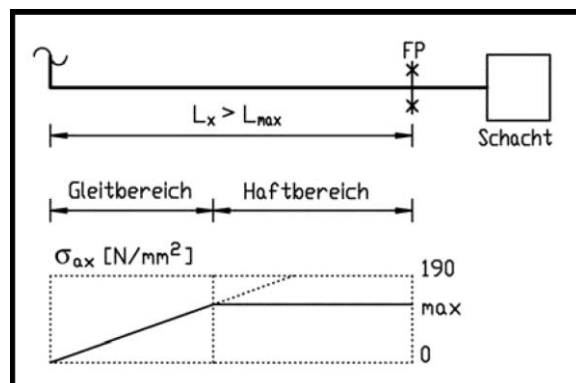
$$S'R = G_{FP} * \tan \varphi [кН/м] \quad (43)$$

$$S'R = 119,32 * \tan 40 [кН/м] \quad \text{(Пример 43)}$$

φ = угол терния бетона $[^\circ]$

$$L_{FP} = \frac{F_{FP} * f_{\mu} - F_{FP}}{S_R} [м] \quad (44)$$

Ответ: $L_{FP} = 0,96 \text{ м}$



Ответ: $S'R = 100,11 \text{ кН/м}$

$$L_{FP} = \frac{542,99 * 0,85 - 542,99}{100,11} [м] \quad \text{(Пример 44)}$$

Вскрытие теплотрассы

При укладке теплотрассы грунт имеет функцию, сравнимую с фундаментом для здания или дома. При бесконтрольном вскрытии ППУ-теплотрассы существует опасность потери продольной устойчивости трассы. В зависимости от эксплуатационных параметров теплосети, возможно, что могут быть вскрыты только небольшие участки трассы (< 5 м!). Чтобы вскрыть участок большей длины, необходимо работать на участках по 5 м. Самый надежный способ для того, чтобы откопать трубу, состоит в понижении рабочей температуры сети до $< 70^{\circ}\text{C}$. Необходимо также обратить внимание на нижеследующие пункты и обсудить их перед началом работы со всеми задействованными структурами в процессе.

- Перед каждым вскрытием теплотрассы или проведении параллельных работ, isoplus, как ответственное лицо, должен получить соответствующее разрешение. Расчет максимально возможной длины выполняет isoplus.
 - Все занятые в строительстве должны крайне ответственно относиться к исполнению работы. Работа должна находиться под постоянным независимым контролем.
 - Возможные повреждения трубы-оболочки ПЭВП должны быть сразу отмечены и должным образом устранены.
 - При параллельном строительстве подпорной стенки должен быть соблюден небольшой отступ между внешней кромкой трубы-оболочки ПЭВП и внешней кромкой стенки, равный минимум 5 мм. Обязательно подтверждение подпорной стенки расчетом трубопровода на прочность.
 - Без крепления необходимо соблюдать отступ от трубы-оболочки до новой траншеи, равное минимум двум высотам перекрытия isoplus-теплотрассы.
 - Если вышеназванное условие не будет соблюдено, то сила трения $[F'_R]$ снизится. Следствие: большая осевая деформация на компенсационных участках, что означает, что необходим дополнительный расчет на прочность относительно данных участков перед вскрытием. В данном случае, компенсационные маты должны быть усилены и удлинены, так же как и защищены от повреждений из-за строительных работ.
 - При технике укладки «термический предварительный нагрев» необходимо соблюдать особую осторожность при вскрытии теплотрассы на открытых участках траншеи или в середине системы, так как на неподвижных участках наблюдается максимальное осевое напряжение.
 - При технике укладки «Производственное самонапряжение» вскрытие теплотрассы является самым критическим, так как в областях повышенного напряжения (см. п. 2.3) превышает предел текучести металлической трубы. Возможна внезапная потеря продольной устойчивости или выпучивание трассы.
 - Следует избегать вскрытия искривленных или эластично изогнутых участков трассы, так как на данных участках грунт дополнительно перенимает функцию опоры.
- Для расчета максимально допустимой длины вскрытия трассы в isoplus должны быть предоставлены данные о точном расположении объекта и планируемая длина вскрытия. В дополнение к таким параметрам, как температура, давление и т.д., необходимо предоставить следующее:
- Температуру грунта при изначальном монтаже трубопровода
 - Фактическую рабочую температуру при вскрытии теплотрассы

Подсоединение к другим трубопроводам

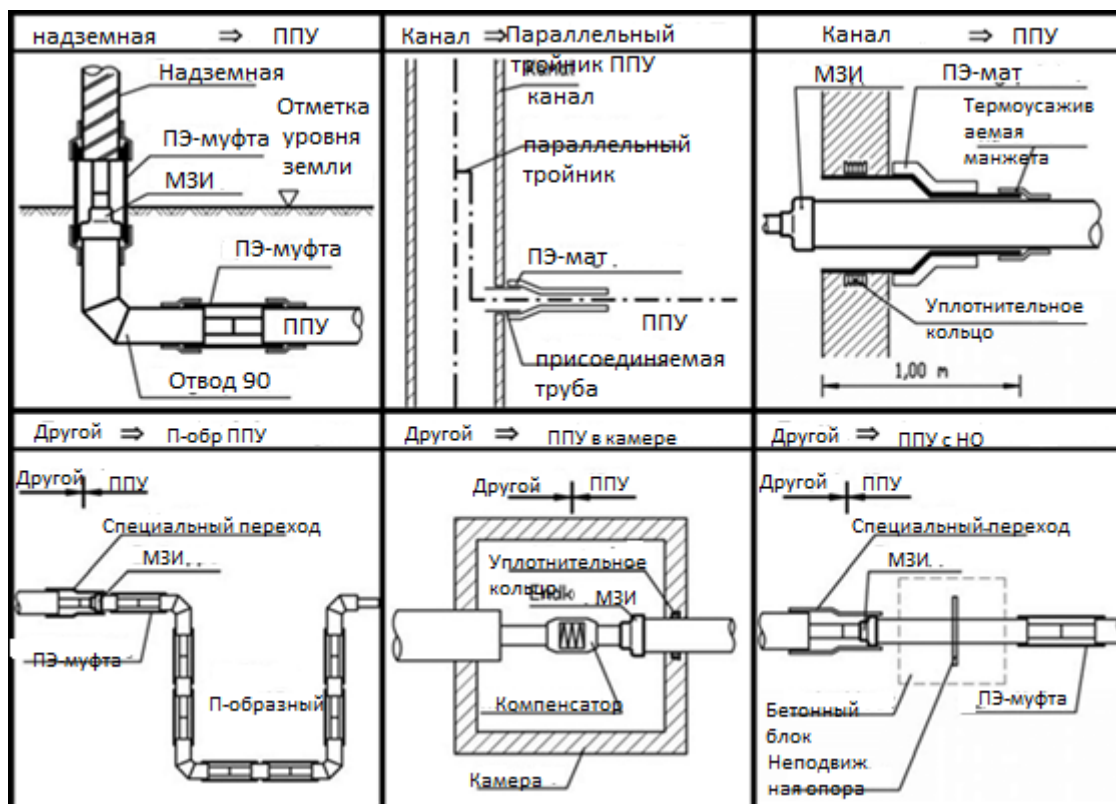
В районах коммунальных сетей централизованного теплоснабжения часто приходится осуществлять подсоединение к другим сетям. Все последующие системы кардинально отличаются от составных конструкций isoplus и поэтому должны быть подвергнуты детальному статистическому расчету в месте подсоединения.

- Двухслойная изолированная труба
- Система высоких температур
- Трубопровод на опорах
- Трубопроводы в битумной или цементной изоляции

Решающий фактор для проектирования – это ожидаемая деформация другой теплотрассы. Для ее определения необходимы документы о состоянии данной трассы. Однако практика показывает, что в большинстве случаев получить такие данные невозможно. Это приводит к тому, что новая isoplus-теплотрасса начинается с удлинительного ответвления из-за невозможности определения статистических данных перехода.

Часто случается, что монтаж П- или Z-образного элемента невозможен по причине отсутствия необходимого пространства. В таких случаях можно либо предусмотреть шахтное сооружение для перехода с осевыми компенсаторами, либо разделить обе трассы конструкцией неподвижной опоры.

Нижеследующие переходы показывают наиболее используемые конструкции переходов.



Определение диаметров

В основном, передаваемая мощность [kW] определяет диаметр трубы. Заданная потеря давления $[\Delta p]$, сумма коэффициентов сопротивления $[\zeta]$ фасонных изделий (например, тройники и отводы), рабочая температура $[T_B]$ или, при трубных системах с подающим и обратным трубопроводом, разница температур $[\Delta T]$ являются дополнительными параметрами. Таблица показывает объем $[v]$ различных диаметров стальной трубы (d_a = наружный диаметр; s = толщина стенки).

Тип трубы	Номинальный внутренний диаметр		Размер стальной трубы		Вмести- мость v в л/м	
			d _a , мм	S, в мм		
	DN	Дюйм				
Стальная труба, черная, толщина стенки согласно ст. Трубы П. 2.0	20	3/4"	26,9	2,3	0,391	
	25	1"	33,7	2,6	0,638	
	32	1 1/4"	42,4	2,6	1,087	
	40	1 1/2"	48,3	2,6	1,459	
	50	2"	60,3	2,9	2,333	
	65	2 1/2"	76,1	2,9	3,882	
	80	3"	88,9	3,2	5,346	
	100	4"	114,3	3,6	9,009	
	125	5"	139,7	3,6	13,789	
	150	6"	168,3	4,0	20,182	
	200	8"	219,1	4,5	34,669	
	250	10"	273,0	5,0	54,325	
	300	12"	323,9	5,6	76,797	
	350	14"	355,6	5,6	93,157	
	400	16"	406,4	6,3	121,798	
	450	18"	457,2	6,3	155,249	
	500	20"	508,0	6,3	192,753	
	550	22"	558,8	6,3	234,311	
	600	24"	610,0	7,1	278,799	
	650	26"	660,0	7,1	327,556	
	700	28"	711,0	8,0	379,367	
	800	32"	813,0	8,8	496,891	
	900	36"	914,0	10,0	627,718	
	1000	40"	1016,0	10,0	779,128	
	Сталь 33.2 DIN 2440	20	3/4"	26,9	2,65	0,366
		25	1"	33,7	3,25	0,581
		32	1 1/4"	42,4	3,25	1,012
		40	1 1/2"	48,3	3,25	1,372
50		2"	60,3	3,65	2,206	
65		2 1/2"	76,1	3,65	3,718	
80		3"	88,9	4,05	5,128	
100		4"	114,3	4,50	8,709	
125		5"	139,7	4,85	13,273	
150		6"	165,1	4,85	18,967	
Медистая и высококачественная сталь DIN 1754 / 2462 / 2463		10	3/8"	15,0	1,0	0,133
		15	1/2"	18,0	1,0	0,201
		20	3/4"	22,0	1,0	0,314
		20	3/4"	22,0	1,2	0,302
		25	1"	28,0	1,2	0,515
	25	1"	28,0	1,5	0,491	
	25	1"	28,0	2,0	0,452	
	32	1 1/4"	35,0	1,5	0,804	
	40	1 1/2"	42,0	1,5	1,195	
	50	2"	54,0	1,5	2,043	
	50	2"	54,0	2,0	1,963	
	65	2 1/2"	70,0	2,0	3,421	
	65	2 1/2"	76,1	2,0	4,083	
	80	3"	88,9	2,0	5,661	
	100	4"	108,0	2,0	8,495	
	100	4"	108,0	2,5	8,332	
	125	5"	133,0	3,0	12,668	
	150	6"	159,0	3,0	18,385	
	15	1/2"	20,0	2,0	0,201	
	15	1/2"	20,0	2,8	0,163	
	20	3/4"	25,0	2,3	0,327	
	20	3/4"	25,0	3,5	0,254	
	25	1"	32,0	2,9	0,539	
	25	1"	32,0	4,4	0,423	
	32	1 1/4"	40,0	3,7	0,835	
	32	1 1/4"	40,0	5,5	0,661	
	40	1 1/2"	50,0	4,6	1,307	
	40	1 1/2"	50,0	6,9	1,029	
50	2"	63,0	5,8	2,075		
50	2"	63,0	8,7	1,633		
65	2 1/2"	75,0	6,8	2,961		
80	3"	90,0	8,2	4,254		
100	4"	110,0	10,0	6,362		

Для прочих размеров вместимость $[v]$ рассчитывается по следующей формуле:

$$v = ((d_a - 2 \cdot s) / 2)^2 \cdot \pi : 1000 \text{ [л/м]} \quad (45) \Rightarrow v = ((168,3 - 2 \cdot 4,0) / 2)^2 \cdot 3,1416 : 1000 \text{ [л/м]}$$

Результат примера (45): $v = 20,182 \text{ л/м}$ или: $v = 20,182 : 1000 = 0,020182 \text{ м}^3/\text{м}$

Определение диаметров

Через вместимость $[v]$ в $\text{м}^3/\text{м}$, установленную скорость течения $[w]$ в м/с и время $[t]$ в с/ч

можно рассчитать объемный расход $[V']$:

$$V' = v \cdot w \cdot t \text{ [м}^3\text{/ч]} \quad (46)$$

$$V' = 0,020182 \cdot 1,7 \cdot 3600 \text{ [м}^3\text{/ч]} \quad (\text{Прим. 46})$$

$$\text{Результат: } V' = 123,514 \text{ м}^3\text{/ч} \quad (\text{Прим. 46})$$

Подобным образом через объем $[v]$ в м³/м и установленную скорость течения $[w]$ в м/с можно рассчитать передаваемую мощность $[P_p]$.

$$P_p = v \cdot w \cdot c_m \cdot \Delta T \text{ [кВт]} \quad (47)$$

$$P_p = 0,020182 \cdot 1,7 \cdot 4187 \cdot 40 \text{ [кВт]} \quad (\text{Прим. 47})$$

$$\text{Результат: } P_p = 5.746,14 \text{ кВт} \quad (\text{Прим. 47})$$

c_m = Удельная энергоемкость, средний расход [Дж/(кг•К)];

н-р, вода = 4.187 Дж/(кг•К)

ΔT = разность конечной и начальной температур вещества [К];

Пример, нагрев $\Rightarrow$ Температура подающего трубопровода $[T_{пт}] = 110^\circ \text{C}$

Температура обратного трубопровода $[T_{от}] = 70^\circ \text{C}$

$$\text{Разница } [\Delta T] = 40 \text{ К}$$

Передаваемой мощности $[P_p]$ противопоставляется потребляемая мощность $[P]$, которая вычисляется по следующим параметрам:

$$P = q + (AW \cdot SD) \text{ [кВт]} \quad (48)$$

q = энергопотеря [кВт], см. П. 11.4

AW = общая потребляемая мощность [кВт], дана

SD = коэффициент запаса прочности [-], дан

Коэффициент запаса прочности $[SD]$ должен компенсировать возникающие за счет шероховатости стенки $[k]$ и/или зависимых от числа Рейнольдса $[Re]$ потери на трение и статические и динамические потери давления $[\Delta p]$, возникающие из-за разности высот. Дополнительные потери давления, возникающие по причине соединительных элементов, таких как отводы, ответвления, арматуры и т.д., также могут быть рассчитаны через коэффициент сопротивления $[\zeta]$. В то же время следует отметить, что последующие потребители будут подключены к трубопроводной системе и расчет будет осуществлен по снижающейся потребной мощности.

Ориентировочный расчет диаметра труб, без претензии на гарантию, может быть осуществлен по формулам (45) - (48). Точное определение номинальных диаметров с помощью итерационных расчетов, которые учитывают все необходимые параметры, должно быть выполнено непосредственно ответственным за проект из технического или проектного бюро, или застройщиком, или оператором сети промышленных предприятий.

Теплотери Теплопроводность

Под теплопроводностью понимается способность материальных тел к переносу энергии от более нагретых частей тела к менее нагретым телам. Способность вещества проводить тепло, согласно его химико-физическим характеристикам, характеризуется коэффициентом теплопроводности $[\lambda]$. Коэффициент теплопроводности $[\lambda]$ основных материалов, используемых isoplus, устанавливается экспериментальным путем.

T_M = средняя температура $[^{\circ}\text{C}]$

T_a = внешняя температура $[^{\circ}\text{C}]$

T_i = внутренняя температура $[^{\circ}\text{C}]$

s_1 = толщина стенки стальной трубы [мм]

s_2 = толщина стенки трубы-оболочки [мм]

ВНИМАНИЕ: для лучшей интерпретации в П. 11.1 до П. 11.5.1. приведены формулы (49) – (68) с примерами с П. 1.0. В качестве примера взят диаметр стальной трубы DN 150. Высота засыпки грунта $[\dot{U}_H]$ составляет 800 мм, а средний монтажный отступ – 200 мм. Для рассмотрения теплопроводности грунта за основу взята осевая высота 925 мм, а межосевое расстояние – 450 мм.

Теплопроводность трубы

Говоря о теплопроводности предварительно изолированных труб, тепловой поток протекает через вещества различной теплопроводности: стальная труба, изоляционный материал и труба-оболочка. Вследствие высокой теплопроводности $[\lambda]$ и низкой толщины стенок стальной трубы и трубы-оболочки решающую роль для теплопередачи играет изоляционный материал. Однако энергопотери должны быть рассчитаны с учетом значений толщины стенок всех материалов. Для расчета теплопроводности на следующие материалы в качестве примера можно взять:

⇒ Стальная труба 37.0: $\lambda_{ST} = 52,33 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$

⇒ ППУ-изоляция: $\lambda_{PUR} = 0,0275 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$

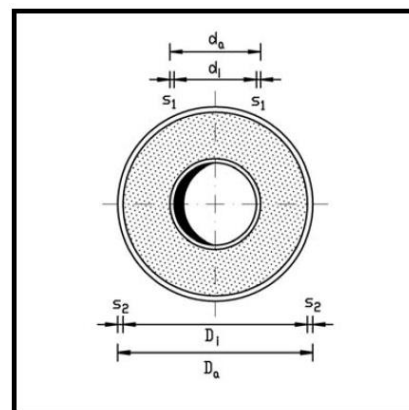
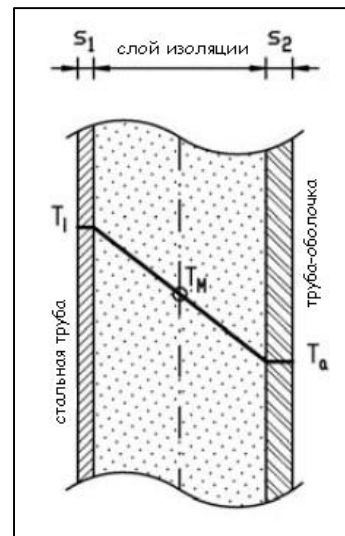
⇒ Труба-оболочка ПЭВП: $\lambda_{PE80} = 0,4 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{K})$

D_a = Внешний $\varnothing$ трубы-оболочки ПЭВП [мм]

D_i = Внутренний $\varnothing$ трубы-оболочки ПЭВП [мм]

d_a = Внешний $\varnothing$ стальной трубы [мм]

d_i = Внутренний $\varnothing$ стальной трубы [мм]



Тепловое сопротивление трубы $[1/\Lambda_R]$ вычисляется в соответствии с уравнением для многослойных труб следующим образом:

$$1/\Lambda_R = \frac{1}{\lambda_{ST}} \cdot \ln \frac{d_a}{d_i} + \frac{1}{\lambda_{PUR}} \cdot \ln \frac{D_i}{d_a} + \frac{1}{\lambda_{PE80}} \cdot \ln \frac{D_a}{D_i} \quad [\text{м} \cdot \text{К}/\text{Вт}] \quad (49)$$

$$1/\Lambda_R = \frac{1}{52,330} \cdot \ln \frac{168,3}{160,3} + \frac{1}{0,0275} \cdot \ln \frac{241,6}{168,3} + \frac{1}{0,400} \cdot \ln \frac{250,0}{241,6} \quad [\text{м} \cdot \text{К}/\text{Вт}] \quad (\text{Прим. 49})$$

$$\text{Результат: } 1/\Lambda_R = 13,2331 \text{ м} \cdot \text{К}/\text{Вт} \quad (\text{Прим. 49})$$

$\ln$ = натуральный логарифм [-]

D_a = Внешний $\emptyset$ трубы-оболочки ПЭВП [мм]

D_i = Внутренний $\emptyset$ трубы-оболочки ПЭВП [мм]

d_a = Внешний $\emptyset$ стальной трубы [мм]

d_i = Внутренний $\emptyset$ стальной трубы [мм]

Тепловое сопротивление $[R_\Lambda]$:

$$R_\Lambda = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot 1/\Lambda_R \quad [\text{м} \cdot \text{К}/\text{Вт}] \quad (50)$$

$$R_\Lambda = \frac{1}{2 \cdot 3,1416} \cdot 13,2331 \quad [\text{м} \cdot \text{К}/\text{Вт}] \quad (\text{Прим. 50})$$

$$\text{Результат: } R_\Lambda = 2,1061 \text{ м} \cdot \text{К}/\text{Вт} \quad (\text{Прим. 50})$$

$$\pi = 3,1416 \quad [-]$$

Коэффициент теплопередачи $[k_R]$ трубы равен обратной величине теплового сопротивления: $\Rightarrow \Rightarrow$

(50)

$$k_R = \frac{1}{R_\Lambda} \quad [\text{Вт}/\text{м} \cdot \text{К}] \quad (51) \quad \text{или:} \quad k_R = \frac{2 \cdot \pi}{1/\Lambda_R} \quad [\text{Вт}/\text{м} \cdot \text{К}] \quad (52)$$

$$k_R = \frac{1}{2,1061} \quad [\text{Вт}/\text{м} \cdot \text{К}] \quad (\text{Прим. 51}) \quad \text{или:} \quad k_R = \frac{2 \cdot 3,1416}{13,2331} \quad [\text{Вт}/\text{м} \cdot \text{К}] \quad (\text{Прим. 52})$$

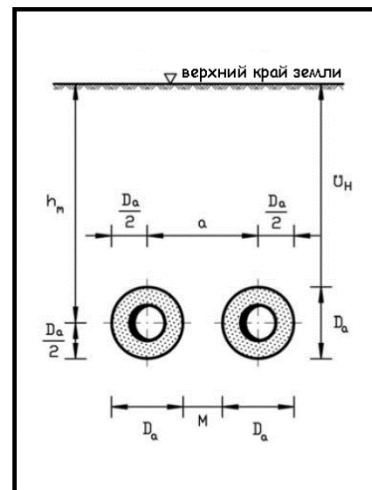
$$\text{Результат: } k_R = 0,4748 \text{ Вт}/\text{м} \cdot \text{К}$$

Теплопроводность грунта

Для того чтобы точно рассчитать энергопотери, необходимо дополнительно знать теплопроводность и толщину грунтового слоя, также как и нагрев грунта между подающим и обратным трубопроводами.

После того как труба-оболочка, согласно указаниям к монтажу isoplus, уложена в песок, влажность песка принимается за 8%, а теплопроводность грунта [λ_E] – за 1,20 Вт/м•К. При укладке в местах с грунтовой водой теплопроводность грунта соответственно изменяется.

Если укладка осуществлялась при других почвенных условиях, то λ_E можно выявить из следующей таблицы:



Тип грунта	Плотность земли ρ , кг/м ³	Влажность, %	Частая влажность, %	Теплопроводность при частой влажности λ_E , Вт/(м•К)
Чистый песок	1500	4		1,04
	↓	↓	8	1,20
	1800	14		1,70
Глинистая земля	1500	23		1,50
	↓	↓	28	↓
	2000	28		2,60

Тепловое сопротивление грунта [$1/\lambda_E$]:

$$1/\lambda_E = \frac{1}{\lambda_E} \cdot \ln \frac{4 \cdot h_m}{D_a} \quad [\text{м} \cdot \text{К}/\text{Вт}] \quad (53)$$

$$1/\lambda_E = \frac{1}{1,20} \cdot \ln \frac{4 \cdot 925}{250} \quad [\text{м} \cdot \text{К}/\text{Вт}] \quad (\text{Прим. 53})$$

$$\text{Результат: } 1/\lambda_E = 2,2455 \text{ м} \cdot \text{К}/\text{Вт} \quad (\text{Прим. 53})$$

$\ln$ = натуральный логарифм [-]

D_a = Внешний $\varnothing$ трубы-оболочки ПЭВП [мм]

$\dot{U}_H$ = верхняя отметка трубы – высота засыпки грунта [мм]

M = Монтажный отступ, см. Главу Монтаж, стр. **М 2.2** [мм]

a = межосевое расстояние от середины трубы

Передний ход $\Rightarrow$ Обратный ход = $M + D_a$ [мм]

h_m = осевая высота от середины трубы до верхнего края земли = $\dot{U}_H + D_a : 2$ [мм]

Взаимное влияние $[1/\Lambda_{RR}]$ трубы на трубу или подающего трубопровода на обратный можно получить через следующее уравнение:

$$1/\Lambda_{RR} = \frac{1}{\lambda_E \cdot 2} \cdot \ln \left[1 + \frac{(2 \cdot h_m)^2}{a^2} \right] \quad [\text{м} \cdot \text{К}/\text{Вт}] \quad (54)$$

$$1/\Lambda_{RR} = \frac{1}{1,2 \cdot 2} \cdot \ln \left[1 + \frac{(2 \cdot 925)^2}{450^2} \right] \quad [\text{м} \cdot \text{К}/\text{Вт}] \quad (\text{Прим. 54})$$

$$\text{Результат: } 1/\Lambda_{RR} = 1,2020 \text{ м} \cdot \text{К}/\text{Вт} \quad (\text{Прим. 54})$$

$\ln$ = натуральный логарифм [-]

D_a = наружный диаметр трубы-оболочки ПЭВП [мм]

$\dot{U}_H$ = верхняя отметка трубы – высота засыпки грунта [мм]

M = Монтажный отступ, см. Главу Монтаж, стр. **М 2.2** [мм]

a = межосевое расстояние от оси трубы

Подающий трубопровод $\Rightarrow$ Обратный трубопровод = $M + D_a$ [мм]

h_m = осевая высота от середины трубы до верхнего края земли = $\dot{U}_H + D_a : 2$ [мм]

Сумму всего теплового сопротивления $[1/\Lambda_\Sigma]$ можно получить путем обычного сложения:

$$1/\Lambda_\Sigma = 1/\Lambda_R + 1/\Lambda_E + 1/\Lambda_{RR} \quad [\text{м} \cdot \text{К}/\text{Вт}] \quad (49) + (53) + (54) = (55)$$

$$1/\Lambda_\Sigma = 13,2331 + 2,2455 + 1,2020 \quad [\text{м} \cdot \text{К}/\text{Вт}]$$

(Прим. 55)

$$\text{Результат: } 1/\Lambda_\Sigma = 16,6806 \text{ м} \cdot \text{К}/\text{Вт} \quad (\text{Прим. 55})$$

Для **общего теплового сопротивления** заложенной в землю трубы $[R_{\Sigma ER}]$ действует:

$$R_{\Sigma ER} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot 1/\Lambda_\Sigma \quad [\text{м} \cdot \text{К}/\text{Вт}] \quad (56)$$

$$R_{\Sigma ER} = \frac{1}{2 \cdot 3,1416} \cdot 16,6806 \quad [\text{м} \cdot \text{К}/\text{Вт}] \quad (\text{Прим. 56})$$

$$\text{Результат: } R_{\Sigma ER} = 2,6548 \text{ м} \cdot \text{К}/\text{Вт} \quad (\text{Прим. 56})$$

$$\pi = 3,1416 \quad [-]$$

Коэффициент теплопередачи k_{ER} пролегающей в земле трубы, согласно ISO 7345 [U], является обратным значением $R_{\Sigma ER}$:

$\Rightarrow \Rightarrow$ (56)

$$k_{ER} = \frac{1}{R_{\Sigma ER}} \quad [\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})] \quad (57)$$

$$\text{или:} \quad k_{ER} = \frac{2 \cdot \pi}{1/\Lambda_{\Sigma}} \quad [\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})] \quad (58)$$

$$k_{ER} = \frac{1}{2,6548} \quad [\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})] \quad (\text{Прим. 57})$$

$$\text{или:} \quad k_{ER} = \frac{2 \cdot 3,1416}{16,6806} \quad [\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})] \quad (\text{Прим. 58})$$

Результат: $k_{ER} = 0,3767 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$

Теплоэнергопотери

Для точного определения теплотерь $[q]$ должна быть известна средняя температура $[T_M]$ рабочих температур подающего и обратного трубопроводов $[T_{VL} + T_{RL}]$ к температуре грунта $[T_E]$:

$$T_M = (T_{VL} + T_{RL}) / 2 - T_E \quad [\text{К}] \quad (59) \quad \text{Прим. } T_M = (130^\circ + 90^\circ) / 2 - 10^\circ = 100 \text{ К}$$

Расчет теплотерь $[q]$ на метр трубы $[m]$ выполняется следующим образом:

$$q = \frac{T_M}{R_{\Sigma ER}} \quad [\text{Вт}/\text{м}] \quad (60) \quad \text{Прим. } q: \frac{100}{2,6548} = 37,6676 \text{ Вт}/\text{м}$$

Чтобы рассчитать соответствующие абсолютные теплоэнергопотери $[Q']$ трассы, необходимо знать длину трубопровода и расчетное время.

$$Q' = \frac{q \cdot L \cdot t}{1000} \quad [\text{кВт} \cdot \text{ч}] \quad (61)$$

$$\text{или:} \quad Q' = \frac{k_{ER} \cdot T_M \cdot L \cdot t}{1000} \quad [\text{кВт} \cdot \text{ч}] \quad (62)$$

Пример (61) (62):

$$Q' = \frac{37,6676 \cdot 500 \cdot 720}{1000} \quad [\text{кВт} \cdot \text{ч}]$$

$$\text{или:} \quad Q' = \frac{0,3767 \cdot 100 \cdot 500 \cdot 720}{1000} \quad [\text{кВт} \cdot \text{ч}]$$

Результат: $Q' = 13.561 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$

или $13.561 : 720 = 18,83 \text{ кВт}$

L = Длина трубы, передний и обратный ход $[m]$, н-р, 500 м соответствует 250 м трассе

t = Время эксплуатации $[ч]$, н-р, 720 ч соответствует 30 дням или 1 месяцу

Коэффициент теплопередачи **k_{ER}** и теплотери **q** трубных систем **isoplus** можно найти в главах Трубы, Гибкие трубы или Двойные трубы.

Надземная укладка

Для открытых трубных систем isoplus с трубой-оболочкой из тонколистовой оцинкованной стали теплотери, в значительной степени, будут рассчитаны через коэффициент теплопередачи $[\alpha]$. Так как данное значение зависит от многих внешних факторов, как, например, направление и скорость ветра, то в Директиве Ассоциации Немецких Инженеров 2055 были заложены следующие значения:

Среднее значение на открытом пространстве $\alpha = 25 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$

Нижнее значение при отсутствии ветра на открытом пространстве $\alpha = 15 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$

Среднее значение на закрытом пространстве $\alpha = 8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$

Нижнее значение на закрытом пространстве $\alpha = 25 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$

В зависимости от α можно вычислить **тепловой поток $[Q_R]$** на поверхности трубы-оболочки:

$$Q_R = \pi \cdot D_a \cdot \alpha \text{ [Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})] \quad (63) \quad \text{Пример } Q_R: 3,1416 \cdot 0,25 \cdot 25 = 19,6350 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$$

$$\pi = 3,1416 \text{ [-]}$$

$$D_a = \text{Внешний } \varnothing \text{ трубы-оболочки ОЦ [м]}$$

Сопротивление теплопередаче $[R_\alpha]$ поверхности трубы-оболочки обратно $Q_R: \Rightarrow \Rightarrow \quad (63)$

$$R_\alpha = 1 / Q_R \text{ [м} \cdot \text{К}/\text{Вт}] \quad \text{Пример } R_\alpha = 1 / 19,6350 = 0,0509 \text{ м} \cdot \text{К}/\text{Вт}$$

Тепловое сопротивление трубы $[1/\Lambda_R]$, как и тепловое сопротивление $[R_\Lambda]$, определяется по ранее указанным формулам (49) и (50), см. П. 11.1. При этом нужно учитывать изменяющиеся значения трубы-оболочки ОЦ и ее теплопроводность $[\lambda]$.

$$1/\Lambda_R = \frac{1}{52,33} \cdot \ln \frac{168,3}{160,3} + \frac{1}{0,0275} \cdot \ln \frac{248,8}{168,3} + \frac{1}{52,33} \cdot \ln \frac{250,0}{248,8} \text{ [м} \cdot \text{К}/\text{Вт}] \quad (\text{Прим. 49})$$

$$\text{Результат: } 1/\Lambda_R = 14,2156 \text{ м} \cdot \text{К}/\text{Вт} \quad (\text{Прим. 49})$$

$$R_\Lambda = \frac{1}{2 \cdot 3,1416} \cdot 14,2156 \text{ [м} \cdot \text{К}/\text{Вт}] \quad (\text{Прим. 50})$$

$$\text{Результат: } R_\Lambda = 2,2625 \text{ м} \cdot \text{К}/\text{Вт} \quad (\text{Прим. 50})$$

Путем обычного сложения можно вычислить **общее тепловое сопротивление $[R_{\Sigma FR}]$** .

$$R_{\Sigma FR} = R_\alpha + R_\Lambda \text{ [м} \cdot \text{К}/\text{Вт}] \quad (65) \quad \text{Пример } R_{\Sigma FR} = 0,0509 + 2,2625 = 2,3134 \text{ м} \cdot \text{К}/\text{Вт}$$

Коэффициент теплопередачи $[k_{FR}]$, согласно ISO 7345 [U], трубопровода на открытой местности, см. П. 11.4. (57), является обратным значением значения $R_{\Sigma FR}$: $\Rightarrow \Rightarrow \quad (65)$

$$k_{FR} = 1 / R_{\Sigma FR} \text{ [Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})] \quad (66) \quad \text{Пример } k_{FR} = 1 / 2,3134 = 0,4323 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$$

Для вычисления **теплотерь $[q]$ на метр трубы $[m]$** и **теплоэнергопотерь $[Q']$ трассы** используются формулы (59) - (62) согласно П. 11.4.

Надземная укладка согласно HeizAnIV и EnEV

Предписанные HeizAnIV и EnEV минимальные параметры толщины изоляции [s_D] относятся к теплопроводности [λ] изоляционного материала $\lambda_{DA20} = 0,035$ Вт/(м•К). При этом нормальная температура составляет 20° С.

Минимальные параметры согласно HeizAnIV и EnEV								
Стальная труба		Изоляция		isoplus-измерения см. П. 4.1.1	Стальная труба		Изоляция	
Внутр. Ø DN	Внешний Ø d _a , мм	Слой изоляции s _D , мм	Внешний Ø D _{ax} , мм		Внутр. Ø DN	Внешний Ø d _a , мм	Слой изоляции s _D , мм	Внешний Ø D _{ax} , мм
20	26,9	20	67		125	139,7	100	340
25	33,7	30	94		150	168,3	100	369
32	42,4	30	103		200	219,1	100	420
40	48,3	40	129		250	273,0	100	473
50	60,3	50	161		300	323,9	100	524
65	76,1	65	207		350	355,6	100	556
80	88,9	80	249		400	406,4	100	607
100	114,3	100	315		450	457,2	100	658

Используемая isoplus ППУ-жесткая пена, однако, показывает при $T = 50^\circ \text{C}$ теплопроводность $\lambda_{\text{ППУ}} = 0,0275$ Вт/(м•К). Коэффициент теплопроводности изоляционного материала при 50° С согласно HeizAnIV и EnEV: $\Rightarrow \lambda_{DA50} = 0,037$ Вт/(м•К) Поэтому необходимо вычислять эквивалентный диаметр трубы-оболочки [D_a] труб isoplus с помощью числа Эйлера:

$$D_a = d_a \cdot e^x \text{ [мм]} \quad (67) \quad \text{Пример } D_a: 168,3 \cdot e^{0,5835} = 301,64 \text{ мм}$$

e = число Эйлера [-]

d_a = внешний Ø стальной трубы [мм]

Ближайший диаметр поставляемой трубы-оболочки составляет 315 мм. Поэтому в качестве трубы isoplus в данном примере стоит выбрать DN 150/315.

x в формуле (67) вычисляется следующим образом:

$$x = \frac{\lambda_{\text{PUR}}}{\lambda_{DA50}} \cdot \ln \frac{D_{ax}}{d_a} \text{ [-]} \quad (68)$$

$$x = \frac{0,0275}{0,0370} \cdot \ln \frac{369,0}{168,3} \text{ [-]} \quad (\text{Прим. 68})$$

$$\text{Результат: } x = 0,5835 \quad (\text{Прим. 68})$$

$\ln$ = Натуральный логарифм [-]

D_{ax} = Внешний Ø трубы-оболочки по HeizAnIV и EnEV [мм]

λ_{PUR} = Коэффициент теплопроводности ППУ-изоляции isoplus [Вт/(м•К)]

λ_{DA50} = Коэффициент теплопроводности изоляции по HeizAnIV и EnEV [Вт/(м•К)]

Рентабельность толщины изоляционного слоя

Будут ли поставленные isoplus-трубы иметь стандартный, 1 х или 2 х усиленный слой изоляции, зависит, в большей степени, от экономических решений. Для того, чтобы принять такое решение, за основу расчетов берется метод чистой приведенной стоимости. При данном методе расчета с помощью аннуитетного фактора [AF] дисконтируется сумма инвестиционных затрат [ΣIC], текущая стоимость энергопотерь [Q] и срок амортизации [n], приведённые к текущему моменту времени. (См. П. 12.1)

Это означает, что при процентной ставке $i_z = 0,10$ и сроком амортизации $n = 5$ лет, текущая стоимость энергопотерь [Q] для следующих 5 лет, например, при 1.000.- €/год будет равна не 5.000.- €, а только 3.791.- € на сегодняшний день из-за аннуитетного фактора.

К инвестиционным затратам на материал для трубопровода, строительство трубопровода также относятся капитальные затраты на энергопотери. Расчет энергопотерь [q] на метр трубы будет осуществлен согласно формулам (49) – (66), см. П. 11.1 до П. 11.5.

Сравним три возможных варианта толщины слоя изоляции. Для данного сравнения возьмем номинальный внутренний диаметр DN 150, диаметр трубы-оболочки ПЭВП 250, 280 и 315, действующую среднюю температуру $T_M = 100$ К. Как результат энергопотерь получим:

- DN 150/250 : $q = 37,6676$ Вт/м
- DN 150/280 : $q = 30,2678$ Вт/м
- DN 150/315 : $q = 25,2039$ Вт/м

Параметры траншеи для укладки трубопровода см. в П. 11.0

Для определения рентабельности, будет сравнена чистая приведенная стоимость согласно разным вариантам вычисления. Первым делом необходимо определить процентную ставку i_z .

$$i_z = (Z_k - R_i - P_e) / 100 \quad [\% / 100] \quad (69) \quad \text{Пример } i_z: (10 - 2,5 - 4,0) / 100 = 0,035 \quad \% / 100$$

Z_k = Процент по кредиту [%/г]

R_i = Темп инфляции [%/г]

P_e = Рост цен на энергию [%/г]

После определения срока амортизации [n] и процентной ставки i_z можно вычислить **аннуитетный фактор [AF]** по следующей формуле, либо взять его из таблицы согласно П. 12.1.

$$A_F = \frac{(1 + i_z)^n - 1}{i_z \cdot (1 + i_z)^n} \quad [-] \quad (70) \quad \text{Пример } A_F: \frac{(1 + 0,035)^{30} - 1}{0,035 \cdot (1 + 0,035)^{30}} = 18,392$$

n = срок амортизации [a], согласно EN 253 — минимум 30 лет

Аннуитетный фактор AF

I _z в % 100	Амортизационный срок [n]					
	5 лет	10 лет	15 лет	20 лет	25 лет	30 лет
0,015	4,783	9,222	13,343	17,169	20,720	24,016
0,020	4,713	8,983	12,849	16,351	19,523	22,396

i _z в % 100	Амортизационный срок [n]					
	5 лет	10 лет	15 лет	20 лет	25 лет	30 лет
0,085	3,941	6,561	8,304	9,463	10,234	10,747
0,090	3,890	6,418	8,061	9,129	9,823	10,274
0,095	3,840	6,279	7,828	8,812	9,438	9,835
0,100	3,791	6,145	7,606	8,514	9,077	9,427
0,105	3,743	6,015	7,394	8,231	8,739	9,047
0,110	3,696	5,889	7,191	7,963	8,422	8,694
0,115	3,650	5,768	6,997	7,710	8,124	8,364
0,120	3,605	5,650	6,811	7,469	7,843	8,055
0,125	3,561	5,536	6,633	7,241	7,579	7,766
0,130	3,517	5,426	6,462	7,025	7,330	7,496
0,135	3,475	5,320	6,299	6,819	7,095	7,242
0,140	3,433	5,216	6,142	6,623	6,873	7,003
0,145	3,392	5,116	5,992	6,437	6,663	6,778
0,150	3,352	5,019	5,847	6,259	6,464	6,566
0,025	4,646	8,752	12,381	15,589	18,424	20,930
0,030	4,580	8,530	11,938	14,877	17,413	19,600
0,035	4,515	8,317	11,517	14,212	16,482	18,392
0,040	4,452	8,111	11,118	13,590	15,622	17,292
0,045	4,390	7,913	10,740	13,008	14,828	16,289
0,050	4,329	7,722	10,380	12,462	14,094	15,372
0,055	4,270	7,538	10,038	11,950	13,414	14,534
0,060	4,212	7,360	9,712	11,470	12,783	13,765
0,065	4,156	7,189	9,403	11,019	12,198	13,059
0,070	4,100	7,024	9,108	10,594	11,654	12,409
0,075	4,046	6,864	8,827	10,194	11,147	11,810
0,080	3,993	6,710	8,559	9,818	10,675	11,258

Через вычисленный аннуитетный фактор $[A_F]$ и энергопотери $[q]$ можно выявить и сравнить абсолютную текущую стоимость энергопотерь $[Q_{PV}]$.

$$Q_{PV} = \frac{q \cdot Q \cdot t}{1000} \cdot A_F \cdot L \text{ [€]} \quad (71)$$

$$Q_{PV} = \frac{37,6676 \cdot 0,04 \cdot 8760}{1000} \cdot 18,392 \cdot 500 = 121.375,49 \text{ €} \quad (\text{Прим.71 - D})$$

Разница текущей стоимости энергопотерь [QPV] к DN 150/280 = 23.844,21 € или

$$Q_{PV} = \frac{30,2678 \cdot 0,04 \cdot 8760}{1000} \cdot 18,392 \cdot 500 = 97.531,28 \text{ €} \quad (\text{Прим.71 - D})$$

Разница текущей стоимости энергопотерь [QPV] к DN 150/280 = 16.317,30 € или

$$Q_{PV} = \frac{25,2039 \cdot 0,04 \cdot 8760}{1000} \cdot 18,392 \cdot 500 = 81.213,98 \text{ €} \quad (\text{Прим.71 - D})$$

Q = Издержки производства [€/кВт·ч]; н-р, тариф за пользование теплоэнергией
t = фактор времени [ч/г] = 8760 ч L = длина трубы [м]; например, 500 м

Иными словами, в представленном примере при сроке эксплуатации в 30 лет, длине трубы = 500 м, через замену 1 х усиленного слоя изоляции стандартным слоем изоляции текущая стоимость экономии энергопотерь составит 19,64%.

Чистую приведенную стоимость [K] можно получить путем простого суммирования:

$$K = Q_{PV} + \Sigma_{IC} \text{ [€]} \quad (72)$$

Σ_{IC} = сумма инвестиционных затрат [€/м] $\Rightarrow$

 расходы на строительство трубопровода;

 + стоимость материалов;

 + стоимость наземных или подземных работ.

Долговечность трубопровода

Оценка ожидаемого срока службы ППУ-теплотрассы при круглогодичной эксплуатации и различной рабочей температуре преимущественно зависит от термостабильности ППУ-пены. При чрезмерной термической перегрузке связь между оболочкой и стальной трубой исчезает. Поэтому используемая ППУ-пена подвергается испытанию на старение согласно Европейским Нормам EN 253.

Результат испытания представляется согласно закону Аррениуса в диаграмме логарифмически через обратную величину воздействующих температур (прямая срока службы), где каждый тип пены имеет свой срок службы и энергию активации [кДж/(моль·К)]. Данная диаграмма показывает срок службы в соответствии с любой рабочей температурой.

Срок службы системы не должен быть менее 30 лет. Такой срок службы будет достигнут при рабочей температуре в максимально возможные 155° С. Возможны короткие и незначительные превышения. Высокие температурно-временные перегрузки приводят к ускоренному снижению теплостойкости.



Для того чтобы произвести точную оценку ожидаемого срока службы трассы, isoplus-у необходимо предоставить годовой температурный профиль.



Проверочный расчет напряжений

Труба

Вследствие растягивающей силы и внутреннего давления в прямой трубе возникают следующие напряжения:

1. Продольное напряжение [σ_{FTX}]

$$\sigma_{FTX} = F_T / A = \sigma_a \text{ [Н/мм}^2\text{]} \text{ (73)}$$

$$\sigma_{FTX} = 209.691,00 / 2.064,66 \text{ [Н/мм}^2\text{]} \text{ (Прим. 73)}$$

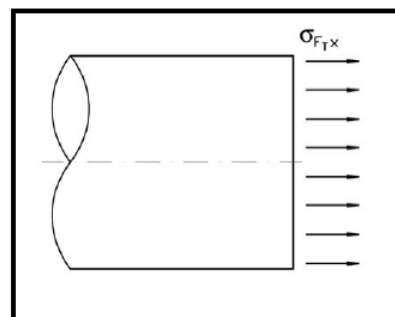
$$\text{Результат: } \sigma_{FTX} = 101,562 \text{ Н/мм}^2 \text{ (Прим. 73)}$$

F_T = сила температурного расширения [Н] $\Rightarrow$ (5)

A = поперечное сечение стальной трубы [мм²] $\Rightarrow$ (6)

σ_a = осевое напряжение [Н/мм²] $\Rightarrow$ (8)

(5) (6) (8) см. П. 2.2



2. Касательное напряжение по окружности [σ_{py}]

$$\sigma_{py} = (p_i \cdot d_i) / (2 \cdot s) \text{ [Н/мм}^2\text{]} \text{ (74)}$$

$$\sigma_{py} = (1,631 \cdot 160,3) / (2 \cdot 4,0) \text{ [Н/мм}^2\text{]} \text{ (Прим. 74)}$$

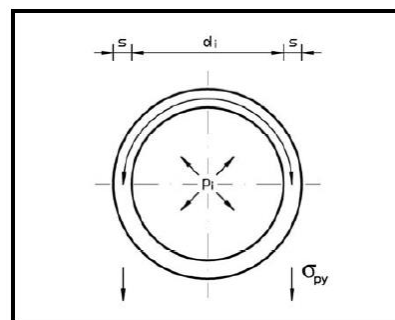
$$\text{Результат: } \sigma_{py} = 32,68 \text{ Н/мм}^2 \text{ (Прим. 74)}$$

s = толщина стенки стальной трубы [мм]

d_i = диаметр стальной трубы [мм]

p_i = внутренне давление [Н/мм²], например, 16 бар

1 Н/мм² = 9,81 бар



ППУ-жесткая пена и труба-оболочка ПЭВП

1. Напряжение сжатия. Как показывает практика, изменения длины трех компонентов ППУ-теплотрассы $\Rightarrow$ Стальная труба – ППУ-пена – Труба-оболочка $\Leftarrow$ являются равными при термическом напряжении. При повышении температуры в ППУ-теплотрассе из-за возникшего трения возникает напряжение сжатия.

$$(3) \Rightarrow \sigma = E \cdot \alpha \cdot \Delta T \text{ [Н/мм}^2\text{]}$$

α = коэффициент расширения стали [1/К]

ΔT = разница температур [К]

Величина напряжения $[\sigma]$ рассчитывается из Е-Модуля соответствующих компонентов ППУ-теплотрассы, напряжения и Е-Модули пропорциональны друг другу.

$$\frac{\sigma_{\text{сталь}}}{E_{\text{сталь}}} : \frac{\sigma_{\text{ППУ}}}{E_{\text{ППУ}}} : \frac{\sigma_{\text{ПЭВП}}}{E_{\text{ПЭВП}}} \quad (75)$$

Если допустимое напряжение стали будет иметь ограничение в $\sigma_{\text{сталь}} = 190 \text{ Н/мм}^2$, то Е-Модули будут следующими:

$$E_{\text{сталь}} = 204.600 \text{ Н/мм}^2 \text{ при рабочей } T = 130^\circ \text{ C}$$

$$E_{\text{ППУ}} = 15 \text{ Н/мм}^2$$

$$E_{\text{ПЭВП}} = 940 \text{ Н/мм}^2 \text{ согласно isoplus}$$

$$800 \text{ Н/мм}^2 \text{ согласно AGFW FW 401}$$

Тогда возникшее продольное напряжение:

$$\sigma_{\text{пена}} = 190 \cdot (15 / 204600) \sim 0,014 \text{ Н/мм}^2$$

$$\sigma_{\text{ПЭВП}} = 190 \cdot (940 / 204600) \sim 0,873 \text{ Н/мм}^2 \text{ согласно isoplus}$$

$$\sigma_{\text{ПЭВП}} = 190 \cdot (800 / 204600) \sim 0,743 \text{ Н/мм}^2 \text{ согласно AGFW}$$

Если поставить в сравнение максимально допустимое напряжение, согласно П. 14.1.1, то будут выявлены следующие коэффициенты запаса прочности:

Краткосрочный период							Долгосрочный период					
$\sigma_{ппу}$	=	$\frac{0,30}{0,014}$	$\approx$	21,4			$\sigma_{ппу}$	=	$\frac{0,15}{0,014}$	$\approx$	10,7	
$\sigma_{пэвп}$	=	$\frac{12,0}{0,873}$	$\approx$	13,7	$\Leftarrow$	isoplus	$\Rightarrow$	$\sigma_{пэвп}$	=	$\frac{5,0}{0,873}$	$\approx$	5,7
$\sigma_{пэвп}$	=	$\frac{12,0}{0,743}$	$\approx$	16,1	$\Leftarrow$	AGFW	$\Rightarrow$	$\sigma_{пэвп}$	=	$\frac{5,0}{0,743}$	$\approx$	6,7

Официально признанные правила и технологические базы требуют коэффициент запаса прочности $[S_D] \leq 4$!

2. Касательное (тангенциальное) напряжение

Касательное (тангенциальное) напряжение $[\tau]$ возникает от силы трения $[F'_R]$ при изменении длины трубопровода. При временном сопротивлении сдвигу возникают два предельных диапазона, где из-за меньшей окружности в стальной трубе возникает большее касательное напряжение. В качестве максимально допустимого действует $\tau \leq 0,04 \text{ Н/мм}^2$.

Труба-оболочка и ППУ-жесткая пена

$$\tau_h = F'_R / (D_B \cdot \pi) \text{ [Н/мм}^2\text{]} \quad (76)$$

$$\tau_h = 4,1938 / (241,6 \cdot 3,1416) \text{ [Н/мм}^2\text{]} \quad (\text{Прим. 76})$$

$$\text{Результат: } \tau_h = 0,0055 \text{ Н/мм}^2 \quad (\text{Прим. 76})$$

$$\pi = 3,1416 \text{ [-]}$$

$$s_2 = \text{Толщина стенки трубы-оболочки [мм]}$$

$$D_h = \text{Наружный диаметр трубы-оболочки [мм]}$$

$$d_h = \text{Наружный диаметр стальной трубы [мм]}$$

$$D_B = \text{Внутренний диаметр трубы-оболочки [мм]} = D_h - 2 \cdot s_2$$

$$F'_R \Rightarrow (14), \text{ см. П. 3.0} = 4,193,82 \text{ Н/м} = 4,1938 \text{ Н/мм}$$

Труба-оболочка и ППУ-жесткая пена

$$\tau_B = F'_R / (D_h \cdot \pi) \text{ [Н/мм}^2\text{]} \quad (77)$$

$$\tau_B = 4,1938 / (168,3 \cdot 3,1416) \text{ [Н/мм}^2\text{]} \quad (\text{Прим. 77})$$

$$\text{Результат: } \tau_B = 0,0079 \text{ Н/мм}^2 \quad (\text{Прим. 77})$$

Параметры материалов

ППУ-жесткая пена, труба-оболочка ПЭВП и стальная труба, ППУ-теплотрасса согласно AGFW FW 401 - Часть 10 и Европейским Нормам EN 253

Свойство	Обозначение	Ед.изм.	ППУ	ПЭВП
Допустимое продольное напряжение Долговр.	$\sigma_{доп}$	Н/мм ²	0,15	5
Допустимое продольное напряжение Кратковр.	$\sigma_{доп}$	Н/мм ²	0,30	12
Коэффициент расширения	α	1/К	$\approx 5-8 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$
Модуль упругости Долговр.	E	Н/мм ²	15	150
Модуль упругости Кратковр.	E	Н/мм ²	15	800
Минимальная плотность трубы	ρ	кг/м ³	60	935
Предел текучести при 10 % удлинения Кратковр.	Re	Н/мм ²	---	30
Касательное напряжение в ППУ-теплотрассе	τ	Н/мм ²	$\leq 0,04$	
Осевое временное сопротивление сдвигу при 23° С	τ_{ax}	Н/мм ²	$\geq 0,12$	
Осевое временное сопротивление сдвигу, ППУ-теплотрасса при 140° С	τ_{ax}	Н/мм ²	$\geq 0,08$	
Тангенциальное временное сопротивление сдвигу при 23° С	τ_{tan}	Н/мм ²	$\geq 0,20$	
Тангенциальное временное сопротивление сдвигу, ППУ-теплотрасса при 140° С	τ_{tan}	Н/мм ²	$\leq 0,13$	

Усталостное разрушение

Данная форма расчета гарантирует в течение всего эксплуатационного срока ППУ-теплотрассы, что повреждения из-за усталостного разрушения материала при повторной нагрузке исключаются. Путем точного измерения усталостного разрушения участка удлинения или ПЭ-мата возможно сократить размах переменного напряжения так, что сопротивление толщии грунта не приведет к усталостному разрушению материала в месте крепления.

В период эксплуатации трубопроводная система подвергается переменному напряжению, в результате чего возникают первичные и вторичные напряжения.

Первичные напряжения выявляются при таких факторах, как:

⇒ Внутреннее давление; нет угрозы усталостного разрушения, так как размах переменного напряжения от колебаний давления $< R_e$ (предел текучести)

⇒ Собственный вес трубопровода

⇒ Вес средний

⇒ Внешнее давление грунта

и создают равновесие со внешними силами, например, внутреннее давление $\Leftrightarrow$ давление грунта. Их следует отличать как мембранное и изгибающее напряжение.

Вторичные напряжения выявляются при таких факторах, как:

⇒ Перемещение температур

⇒ Термический предварительный нагрев

и возникают при разных модулях упругости материала. Они линейно распределены по поперечному сечению и создают при превышении предела текучести пластические деформации.

Полный цикл нагрузки N согласно AGFW FW 401 - Часть 10			
Тип трубопровода	N	γ_{fat}	N _{SD}
Транспортировка	100	10	1000
Распределение	250	6,67	≈ 1670
Подключение дома к сети	1000	5	5000

γ_{fat} = Временная гарантия против усталостного разрушения

N_{SD} = Нагрузочный цикл, включая коэффициент запаса прочности [S_D]

Пик напряжения

Они накладываются на сумму соответствующих первичных и вторичных напряжений и, следовательно, имеют значение для усталостного разрушения. Однако, заметные и недопустимые деформации никогда не бывают вызваны этими скачками напряжения.

Усталостное разрушение стальной трубы, трубы-оболочки ПЭВП и ППУ-пены

Согласно инструкции Союза работников технического надзора AD S2 „Расчет из повторно-переменных нагрузок“ усталостное разрушение при низком изменении нагрузки будет учтено с изменением нагрузки в 104. Для кривой усталостного напряжения действует AGFW FW 401 - Часть 10, Пункт 3.2.3.