

**ПЕРЕСЕЧЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДОВ  
С ИНЖЕНЕРНЫМИ  
СООРУЖЕНИЯМИ И ВОДНЫМИ  
ПРЕГРАДАМИ. НАГРУЗКИ**

**Лекция №6**

# СПОСОБЫ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ

- Способ пересечения\* теплотрассы с надземными и подземными сооружениями в каждом конкретном случае определяется местными условиями. Если на участках пересечений допустимо сооружение переходов открытым способом, то трубопроводы прокладывают в обычных каналах. При невозможности производства работ открытым способом, требующим, например, перерыва движения транспорта на период сооружения канала, применяют различные закрытые способы прокладки сетей.
- Закрытый переход под препятствием производится проколом или продавливанием стального или железобетонного футляра, в котором затем прокладывают трубопроводы тепловых сетей. Диаметры футляров принимают на 100—200 мм больше диаметров трубопроводов с тепловой изоляцией.



## ФУТЛЯРЫ

- Прокол футляров осуществляется гидравлическими домкратами. Для облегчения прокола на переднем конце футляра закрепляется конический наконечник с диаметром на 10 -20 мм больше диаметра футляра.
- При продавливании прокладывают футляры диаметром от 800 до 1400 мм. Наименьший диаметр устанавливают из условий удобства ручной выемки грунта из футляра. При продавливании грунт заполняет передний конец футляра, откуда его непрерывно удаляют.



# ПРОДАВЛИВАНИЕ

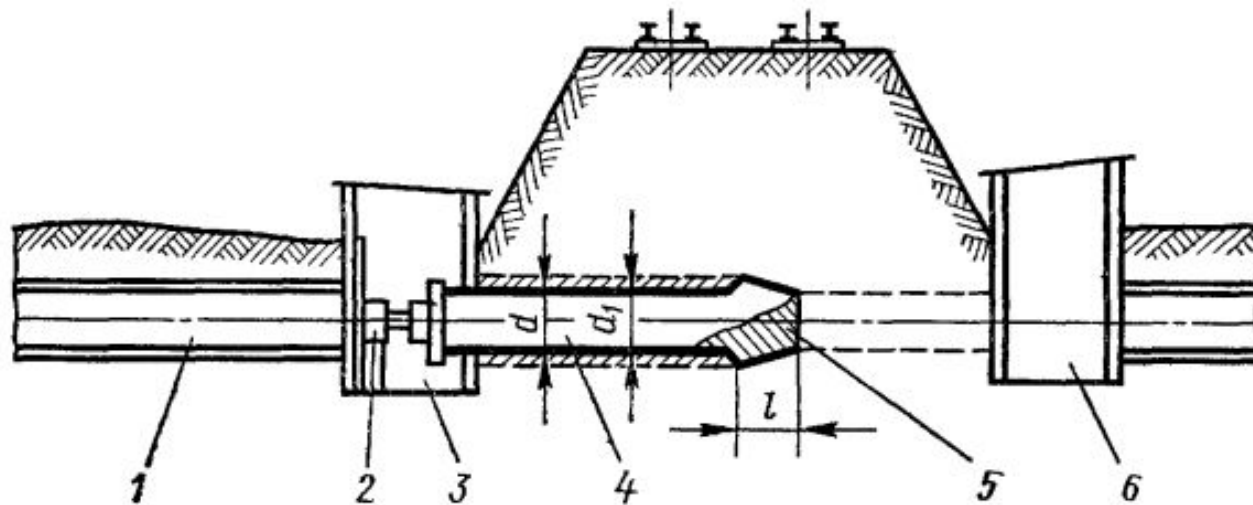


Рис IX 19 Продавливание футляра:

1 — канал; 2 — гидравлический домкрат, 3 — входная шахта; 4 — футляр;  
5 — конический оголовок, 6 — выходная шахта



# ПОДЗЕМНЫЙ СПОСОБ

- Для совместной прокладки коммуникаций различного назначения под инженерными сооружениями применяют щитовые проходки (рис. IX.20). Ручная разработка грунта в теле земляного полотна железной дороги или шоссе производится под прикрытием круглого футляра большого диаметра. Футляр продавливается гидравлическими домкратами, расположенными внутри щита.

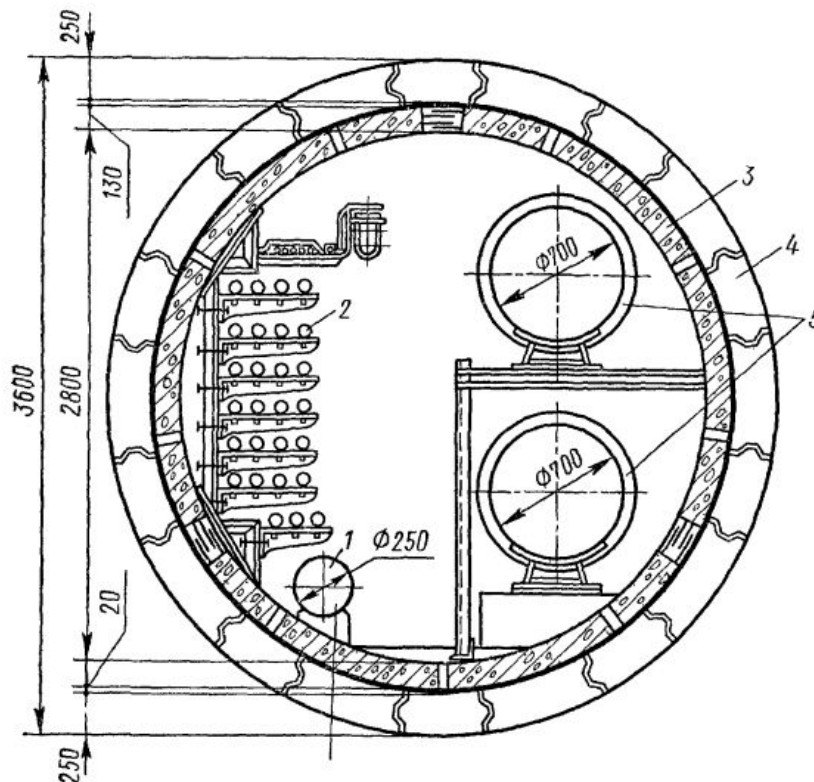


Рис. IX.20. Сечение щитовой проходки:

1 — водопровод; 2 — кабели; 3 — сборная рубашка; 4 — отделка из бетонных изделий; 5 — теплопроводы



## НАДЗЕМНЫЙ СПОСОБ

- Когда невозможно обеспечить допустимое заглубление теплопроводов под пересекаемыми сооружениями, выполняют переходы над препятствием. Надземные переходы над сухопутными препятствиями (железные и автомобильные дороги) и водными преградами (овраги, реки) устраивают на стойках или эстакадах.
- Переходы на отдельных стойках используют при небольшом числе труб большого диаметра. Эстакадные переходы применяют при большой ширине препятствия и прокладке большого числа коммуникаций. Для надземных переходов используют автодорожные мосты, тепловые сети в этом случае прокладывают под проезжими частями мостов. Воздушные переходы теплопроводов над оврагами и реками выполняют на мачтах с использованием подвесной конструкции



# ЭСТАКАДНЫЕ ПЕРЕХОДЫ

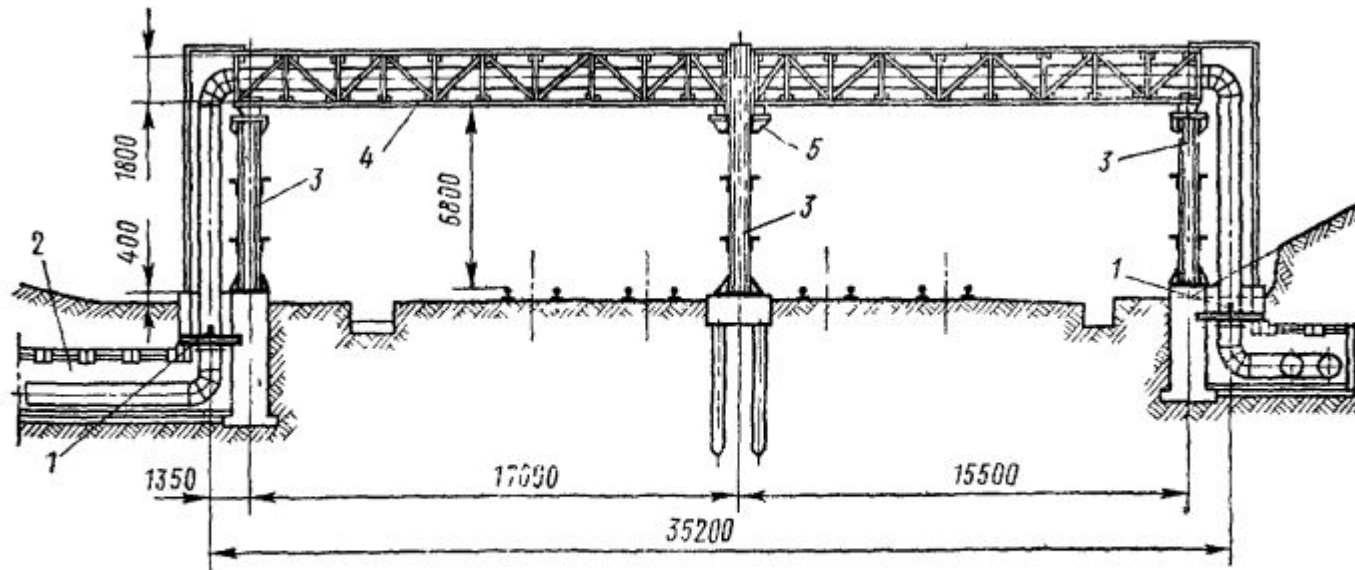


Рис. IX.21. Эстакадный переход над железнодорожными путями:  
1 — пружинные опоры на теплопроводах; 2 — канал; 3 — стойки; 4 — пролетное строение;  
5 — неподвижные опоры теплопроводов



# ПОДВОДНЫЕ ПЕРЕХОДЫ

- Подводные переходы теплопроводов выполняют в стальных футлярах, называемых дюкерами. Дюкер — это сложный инженерный комплекс, предназначенный для совместной или одиночной прокладки по дну водоемов различных коммуникаций и тепловых сетей.
- Многотрубный дюкер представляет собой металлический сварной цилиндр большого диаметра (до 3 м) с толщиной стенки 12—16 мм, усиленный ребрами жесткости. Наружные поверхности дюкера гидроизолируются в несколько слоев битумной мастикой, гидроизолом и битумной эмалью. Дюкер погружается на заранее подготовленное гравийное ложе заполнением водой его внутреннего пространства. Погруженный и закрепленный в неподвижной опоре дюкер дополнительно пригружается чугунными или железобетонными грузами. Неподвижные опоры и грузы предупреждают всплытие дюкера после откачки из него воды.
- Дюкеры небольшого диаметра могут быть использованы для прокладки отдельных теплопроводов





# НАГРУЗКИ НА ПОДВИЖНЫЕ ОПОРЫ

Нагрузки на подвижные опоры трубопроводов подразделяются на вертикальные и горизонтальные и зависят от веса участка трубопровода, приходящегося на опору, и типа опоры.

Вертикальную нагрузку определяют по формуле

$$H_v = ql \text{ кгс}, \quad (11.1)$$

где  $q$  — вес 1 м трубопровода: вес трубы, изоляционной конструкции и воды (вес воды для паропроводов учитывают в связи с заполнением их водой при гидравлическом испытании) в кгс;

$l$  — пролет между подвижными опорами в м.

Горизонтальные нагрузки возникают за счет реакции трения опоры при ее перемещении под влиянием теплового удлинения трубопроводов и определяются по формуле

$$H_r = fql \text{ кгс}, \quad (11.2)$$

где  $f$  — коэффициент трения подвижных опор, принимаемый по табл. 11.1;

$q$  — вес 1 м трубопровода в рабочем состоянии: вес трубы, изоляционной конструкции и воды для водяных тепловых сетей и конденсатопроводов (вес воды в паропроводах в этом случае не учитывается) в кгс



Таблица II.1

## Коэффициент трения подвижных опор

Тип опор	Коэффициент трения подвижных опор $f$
Скользящие . . . . .	0,3
Катковые при осевом перемещении трубопровода . . . . .	0,1
Катковые при боковом перемещении трубопровода перпендикулярно оси . . . . .	0,3
То же, под углом к оси . . . . .	0,15—0,2
Подвесные . . . . .	0,1

При перемещении опоры по оси трассы прямолинейного участка трубопровода возникает только осевая горизонтальная нагрузка. Для уменьшения вертикальной нагрузки на подвижную опору сокращают пролет / между рассматриваемой и ближайшими к ней опорами на магистрали и ответвлениях.



# НАГРУЗКИ НА НЕПОДВИЖНЫЕ ОПОРЫ

- Нагрузки на неподвижные опоры трубопроводов подразделяют на вертикальные и горизонтальные.
- Вертикальные нагрузки определяют по формуле. Если неподвижная опора размещается в узле трубопроводов, учет дополнительных нагрузок от арматуры, сальниковых компенсаторов и пр. производится по аналогии с подвижными опорами.
- Горизонтальные нагрузки на неподвижные опоры трубопроводов возникают под влиянием следующих сил трения в подвижных опорах при тепловом удлинении трубопровода, прокладываемого в непроходных и полупроходных каналах, тоннелях и надземно; трения в сальниковых компенсаторах при тепловом удлинении трубопровода; упругой деформации гибких компенсаторов или самокомпенсации при их растяжке в холодном состоянии или при тепловом удлинении трубопровода; внутреннего давления при применении неуравновешенных сальниковых компенсаторов (разрезанные трубопроводы).



- При применении гнутых компенсаторов силы внутреннего давления воспринимаются трубопроводом и на неподвижную опору не передаются.
- При установке по всей трассе уравновешенных сальниковых компенсаторов силы внутреннего давления уравновешиваются самой конструкцией компенсатора и также не передаются на неподвижную опору.



## ВИДЫ НАГРУЗОК

- Горизонтальные нагрузки на неподвижные опоры подразделяют на осевые, действующие по оси трубопровода, и боковые - перпендикулярно оси.
- Осевые нагрузки передаются на все неподвижные опоры, боковые — на неподвижные опоры, размещающиеся в узлах ответвлений. Кроме того, боковые нагрузки передаются при размещении опоры непосредственно перед поворотом трубы при самокомпенсации, а также при размещении неподвижной опоры на углу поворота трубы.
- Для этих опор силы, действующие по оси трубопроводов, раскладывают на две составляющие — вдоль оси неподвижной опоры и перпендикулярно ей.

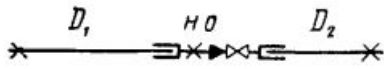
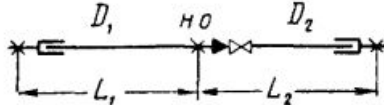
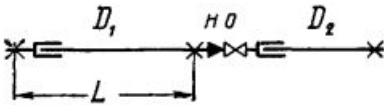


# КОНЦЕВЫЕ И ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ НЕПОДВИЖНЫЕ ОПОРЫ

- Неподвижные опоры подразделяют на концевые, размещающиеся перед заглушкой или поворотом, т. е. в конце участка трубопровода, и промежуточные, размещающиеся между двумя смежными участками.
- На концевые неподвижные опоры горизонтальные осевые нагрузки определяют по сумме сил, действующих на опору с одной стороны.
- Горизонтальные осевые нагрузки на промежуточные опоры определяют с учетом всех действующих сил по обе стороны опоры. При этом рассматривают все возможные режимы работы трубопровода: от холодного до рабочего состояния (при расчетной температуре теплоносителя) — нагревание и от рабочего до холодного состояния трубопровода — охлаждение; это связано с тем, что силы трения и силы упругой деформации гибких компенсаторов и углов поворотов труб меняют свое направление при нагревании и при охлаждении.



Расчетные формулы для определения горизонтальных осевых  $H_{Г.о}$  и боковых  $H_{Г.б}$  нагрузок на неподвижные опоры трубопроводов

№ схем	Схема расчетного участка трубопровода	Расчетные формулы		
		для схем без задвижек или при открытых задвижках	при закрытых задвижках	
			лучевые схемы тепловых сетей	кольцевые схемы тепловых сетей при $D_1 \geq D_2$
1		$D_1 \geq D_2$ $H_{Г.о} = P_{с1} - 0,7P_{с2} + P_{раб} (F_{с.н1} - F_{с.н2})$ $D_1 = D_2$ $H_{Г.о} = 0,3P_c$	$H_{Г.о} = P_{с1} + P_{раб} F_{с.н1}$ $H_{Г.о} = P_{с2} + P_{раб} F_{с.н2}$	$H_{Г.о} = P_{с1} + P_{с2} + P_{раб} F_{с.н1}$
2		$D_1 \geq D_2$ $H_{Г.о} = P_{с1} + fq_1 L_1 + P_{раб} (F_{с.н1} - F_{с.н2}) - 0,7 (P_{с2} + fq_2 L_2)$ $H_{Г.о} = P_{с2} + fq_2 L_2 + P_{раб} (F_{с.н1} - F_{с.н2}) - 0,7 (P_{с1} + fq_1 L_1)$ $D_1 = D_2, L_1 = L_2 = L$ $H_{Г.о} = 0,3 (P_c + fqL)$	$H_{Г.о} = P_{с1} + fq_1 L_1 + P_{раб} F_{с.н1}$ $H_{Г.о} = P_{с2} + fq_2 L_2 + P_{раб} F_{с.н2}$	$H_{Г.о} = P_{с1} + P_{с2} + fq_1 L_1 + fq_2 L_2 + P_{раб} F_{с.н1}$
3		$D_1 \geq D_2$ $H_{Г.о} = P_{с1} - 0,7P_{с2} + fq_1 L + P_{раб} (F_{с.н1} - F_{с.н2})$ $D_1 = D_2$ $H_{Г.о} = 0,3P_c + fqL$	$H_{Г.о} = P_{с1} + fq_1 L + P_{раб} F_{с.н1}$ $H_{Г.о} = P_{с2} + P_{раб} F_{с.н2}$	$H_{Г.о} = P_{с1} + P_{с2} + fq_1 L + P_{раб} F_{с.н1}$



# РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ СТАРТ-ГРУНТ

ОБЪЕКТ 115 - Нагрузки на крепления и оборудование - Максимальное по всем состояниям (В локальных осях креплений (для строителей); k= 1)

Номер узла	Вид изделия	НАГРУЗКИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЕЙ Силы вдоль локальной оси, (кгс)			Моменты вокруг локальной оси, (кгс·см)		
		Xm	Ym	Zm	Xm	Ym	Zm
1	Опора мертвая (неподвижная с заземлением)	26140.10	697.60	1986.60	5562.51	417198.37	268518.07
8, Н2	Опора мертвая (неподвижная с заземлением)	28105.90	6	4060.10	527.98	6245.61	3109.42
12, Н3	Опора мертвая (неподвижная с заземлением)	6.60	0.50	4035.10	0	172.85	0.02
16, Н4	Опора мертвая (неподвижная с заземлением)	135.20	0.50	4035.30	0	28.47	0
20, Н5	Опора мертвая (неподвижная с заземлением)	7763.80	0.40	4025.90	0.11	2222.68	0.46
24, Н6	Опора мертвая (неподвижная с заземлением)	50394.50	682.80	2545.80	1308.16	9782.35	177323.20
28, Н7	Опора мертвая (неподвижная с заземлением)	24878.50	5.20	2511.20	829.77	1869.92	419.69
32, Н8	Опора мертвая (неподвижная с заземлением)	4074.70	0.40	2509.10	152.22	2224	0.11
42, Н9	Опора мертвая (неподвижная с заземлением)	17615.30	191.70	2454.90	5327.52	51098.84	21623.06
54, Н10	Опора мертвая (неподвижная с заземлением)	72.50	0.30	1484.40	0	0.86	0
62, Н11	Опора мертвая (неподвижная с заземлением)	2.60	0.30	1484.40	0	0.04	0
70, Н12	Опора мертвая (неподвижная с заземлением)	2.60	0.30	1484.40	0	0.04	0
78, Н13	Опора мертвая (неподвижная с заземлением)	102.40	0.30	1484.40	0.09	0.04	0
86, Н14	Опора мертвая (неподвижная с заземлением)	3283	531	1830.20	21301.73	71314.43	128510.74
106, Н15	Опора мертвая (неподвижная с заземлением)	3.50	0.30	1484.40	1200.18	1.17	0.04
122, Н16	Опора мертвая (неподвижная с заземлением)	31618.40	145.20	1449.90	3048.52	19219.34	15071.15
142, Н19	Опора мертвая (неподвижная с заземлением)	11264.50	0.20	548.20	67.21	64.51	42.85
178, Н17	Опора мертвая (неподвижная с заземлением)	82.60	0.20	303.70	13.93	0.82	0
174, Н20	Опора мертвая (неподвижная с заземлением)	0.80	0.20	548.60	0	0.17	0
206, Н21	Опора мертвая (неподвижная с заземлением)	4942.90	0.20	548.40	33.10	37.20	0.02
210, Н18	Опора мертвая (неподвижная с заземлением)	7746.80	0.20	303.60	0	10.76	0.02





## ПРИМЕР

- Определить расчетную нагрузку на промежуточную неподвижную опору №2 при следующих данных: удельная нагрузка трубопровода в рабочем состоянии  $50 \text{ Н/м}$ ; усилие компенсатора К1 в состоянии предварительной расяжки и в рабочем состоянии  $R_{к1}=5000 \text{ Н}$ ; усилие компенсатора К2 в состоянии предварительной растяжки и в рабочем состоянии  $R_{к2}=4000 \text{ Н}$ .



# СХЕМА

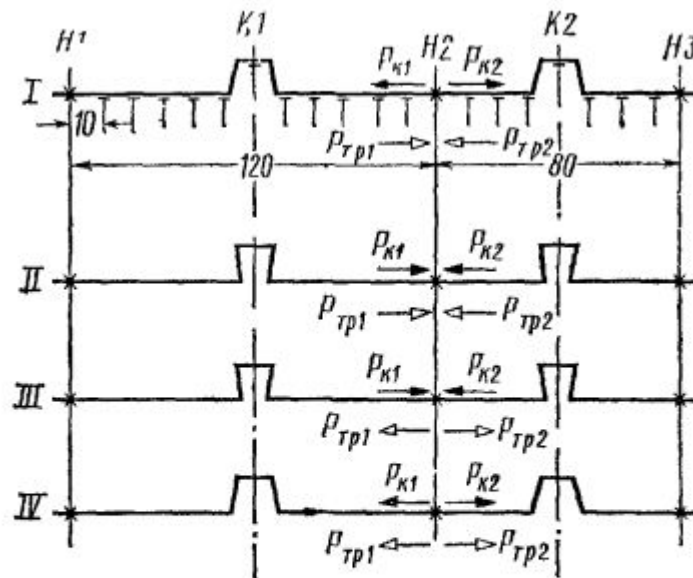


Рис. IX.25. Схема действия сил на промежуточную неподвижную опору при различных режимах работы трубопровода:

*I* — начало нагрева; *II* — конец нагрева,  
*III* — начало охлаждения; *IV* — конец охлаждения



## РЕШЕНИЕ

Решение. Силы трения подвижных опор определим по формуле (IX.6); на участке между неподвижными опорами Н1, Н2

$$P_{\text{тр1}} = \mu q l n_{01} = 0,3 \cdot 50 \cdot 10 \cdot 5 = 750 \text{ Н};$$

на участке между неподвижными опорами Н2, Н3

$$P_{\text{тр2}} = \mu q l n_{02} = 0,3 \cdot 50 \cdot 10 \cdot 3 = 450 \text{ Н},$$

где  $l = 10$  м;  $n_{01}$ ,  $n_{02}$  — число опор слева и справа от неподвижной опоры (приняты из рис. IX 25).

*I режим*, соответствующий трубопроводу в холодном состоянии. Так как усилия, действующие в левую сторону ( $P_{\text{к1}} + P_{\text{тр2}} = 5000 + 450 = 5450$  Н), больше усилий, направленных вправо ( $P_{\text{к2}} + P_{\text{тр1}} = 4000 + 750 = 4750$  Н), то результирующая реакция на неподвижную опору определится из равенства

$$N_{\text{п I}} = P_{\text{к1}} + P_{\text{тр2}} - 0,7 (P_{\text{к2}} + P_{\text{тр1}}) = 2125 \text{ Н}.$$

*II режим*, соответствующий трубопроводу в рабочем состоянии. Усилия, действующие вправо, больше усилий, действующих в обратном направлении, поэтому результирующая реакция на неподвижную опору составит

$$N_{\text{п II}} = P_{\text{к1}} + P_{\text{тр1}} - 0,7 (P_{\text{к2}} + P_{\text{тр2}}) = 2635 \text{ Н}.$$

*III режим*. С началом охлаждения трубопровода реакции трения подвижных опор изменяют направления, препятствуя сокращению величины температурного удлинения трубопровода. По сумме действующих сил вправо и влево устанавливаем расчетную зависимость

$$N_{\text{п III}} = P_{\text{к1}} + P_{\text{тр2}} - 0,7 (P_{\text{к2}} + P_{\text{тр1}}) = 2125 \text{ Н}.$$

*IV режим.* С возникновением предварительного растяжения компенсаторов направление их усилий изменится, поэтому расчетная нагрузка на опору составит

$$N_{п IV} = P_{к1} + P_{тр1} - 0,7 (P_{к2} + P_{тр2}) = 2635 \text{ Н.}$$

Таким образом, для рассматриваемой схемы трубопровода режимы II и IV отвечают наиболее нагруженным состояниям неподвижных опор. Другие часто встречающиеся при проектировании расчетные схемы трубопроводов и методы их решения представлены в справочной литературе [28].

