

Методика механического расчета труб

Методика механического расчета труб

Классификация безнапорных труб традиционно производится по классу кольцевой жесткости (SN), а не по величине стандартного размерного отношения (SDR). Принципиальное отличие SDR и SN в том, что SDR — это геометрическая характеристика трубы (отношение наружного диаметра трубы к толщине ее стенки), тогда как SN — это механическая характеристика.

Кольцевая жесткость SN позволяет судить о свойствах трубы сопротивляться давлению грунта и определяется как нагрузка на трубу ($кН/м^2$), при которой труба сдвигается на 3% от своего диаметра. Величина SN зависит не только от диаметра трубы, толщины ее стенки, но и от модуля упругости E материала при сжатии.

Маркировка трубы для прокладки кабельной линии должна включать в себя диаметр трубы D , толщину стенки e , кольцевую жесткость SN , предельное усилие тяжения F_{MAX} , длительно допустимую температуру T , при которой кольцевая жесткость сохраняется на протяжении всего срока службы кабеля.

Параметры D , e , SN и T должны контролироваться при поставках труб на строящиеся объекты. Значение F_{MAX} может потребоваться позже – на стадии выполнения работ по затяжке труб в буровой канал, когда оператор ГНБ установки будет контролировать фактическое усилие тяжения F и прерывать процесс затяжки пучка из N труб в случае $F > 0,5 \cdot N \cdot F_{MAX}$ с целью не допустить обрыва трубы.

Рекомендации по выбору труб для прокладки и защиты силовых кабельных линий, слаботочных сетей и ВОЛС

1. Основные положения

Трубы ПротекторФлекс® БК(Т)/СТ(Т) и ПЛ КС/КН предназначены для защиты кабельных линий при их прокладке в грунте:

- траншейным способом.

Трубы ПротекторФлекс® ПРО(-ОМП)/БК(-ОМП)/СТ(-ОМП) и ПЛ ПС/ПН предназначены для защиты кабельных линий при их прокладке в грунте:

- траншейным способом;
- способом горизонтально-направленного бурения (ГНБ).

При проектировании кабельной линии, проложенной в трубах, для труб должны быть определены следующие параметры:

- наружный диаметр D ;
- кольцевая жесткость SN ;
- предельное усилие тяжения F_{MAX} (кроме труб, предназначенных только для траншейной прокладки).

Указанные параметры рассчитываются по настоящей методике, которая основана на стандарте организации ПАО «Россети» СТО 34.01-2.3.3-038-2021 «Трубы для прокладки кабельных линий напряжением свыше 1 кВ. Общие технические требования».

С целью упрощения расчетов и сокращения количества используемых формул часть выражений в настоящей методике представлена в конечном виде без промежуточных этапов вычислений.

2. Механический расчет при прокладке труб траншейным способом

При прокладке траншейным способом механический расчет выполняется для всех труб:

- гладкостенных труб ПротекторФлекс® ПРО(-ОМП)/БК(-ОМП)/СТ(-ОМП);
- гладкостенных труб ПЛ ПС/ПН;

- спиральных труб ПЛ КС/КН
- траншейных труб ПротекторФлекс® БК(Т)/СТ(Т).

Методика расчета не зависит от типа трубы и является общей для всех случаев.

2.1. Выбор кольцевой жесткости трубы SN

Вертикальное давление на трубу от веса грунта (и транспорта) приводит к возникновению силы, стремящейся деформировать трубу — см. рисунок 2. Деформация трубы сопровождается ее давлением на примыкающий грунт, в результате чего появляется так называемый «отпор грунта», препятствующий дальнейшему сдавливанию трубы.

При выборе достаточной кольцевой жесткости трубы SN отпор грунта учитывают при помощи секущего модуля E'_s , определяемого в зависимости от вида грунта, которым засыпана труба, а также от степени его уплотнения.

Достаточная кольцевая жесткость SN при прокладке трубы в траншее выбирается согласно формуле:

$$SN \geq [0,458 \cdot q - 7,5 \cdot E'_s]$$

где:

- SN — кольцевая жесткость трубы, кН/м²;
- q — вертикальная нагрузка на трубу, кН/м² (рисунок 1);
- E'_s — секущий модуль грунта, МПа.

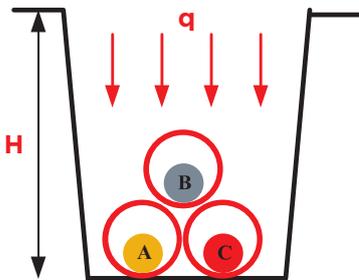


Рис. 1. Воздействие на трубу вертикальной нагрузки q (в качестве примера показан пучок из трех труб с кабелями фаз А, В, С)

Вертикальная нагрузка на трубу q зависит от условий прокладки:

1. Прокладка в зеленой зоне (нагрузка от транспорта отсутствует):

$$q = q_G$$

$$q_G = \rho_G \cdot g \cdot H$$

2. Прокладка под автодорогой:

$$q = q_G + q_{AT}$$

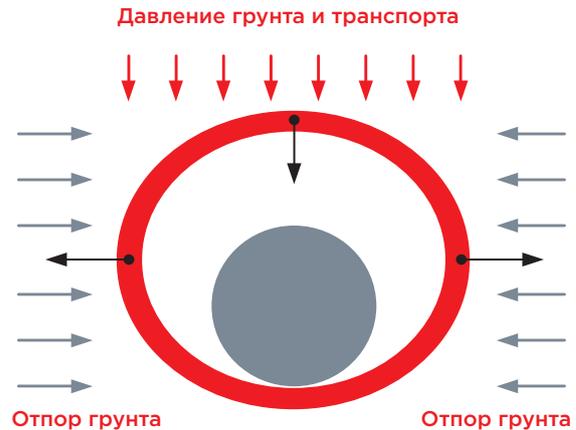


Рис. 2. Полимерная труба с кабелем под давлением грунта

$$q_G = \rho_G \cdot g \cdot H$$

$$q_{AT} = \frac{20 \cdot g}{2,7 + H}$$

3. Прокладка под железнодорожным полотном:

$$q = q_G + q_{ЖТ}$$

$$q_G = \rho_G \cdot g \cdot H$$

где:

$$q_{ЖТ} = \frac{28 \cdot g}{2,7 + H}$$

q_G — вертикальная нагрузка на трубу от веса грунта, кН/м²;

q_{AT} — вертикальная нагрузка на трубу от автотранспорта, кН/м²;

$q_{ЖТ}$ — вертикальная нагрузка на трубу от железнодорожного транспорта, кН/м²;

ρ_G — удельный вес грунта, т/м³ (обычно не более 2 т/м³);

g — гравитационная постоянная Земли, м/с² (принимается равной 9,8 м/с²);

H — глубина прокладки трубы под землей.

При комбинированной местности — когда на участке возможна нагрузка и от автотранспорта, и от железнодорожного транспорта — расчет величины q проводится для наиболее тяжелого случая: «прокладка под железнодорожным полотном».

Секущий модуль E'_s выбирается в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1

Рекомендации по выбору значения секущего модуля грунта E'_S

Глубина засыпки H , м	Засыпка трубы обратным грунтом	Засыпка трубы песком		
		Неуплотненным	Уплотненным вручную	Уплотненным механически
Секущий модуль грунта E'_S , МПа				
1	0	0,5	1,2	1,5
2	0	0,5	1,3	1,8
3	0	0,6	1,5	2,1
4	0	0,7	1,7	2,4
5	0	0,8	1,9	2,7
6	0	1,0	2,1	3,0

Полученное расчетное значение SN должно быть округлено до ближайшего большего значения из стандартного ряда: 12, 16, 24, 32, 48, 64, 96 кН/м².

2.2. Выбор наружного диаметра трубы D

На рисунке 3 показана труба, внутри которой уложен один кабель.

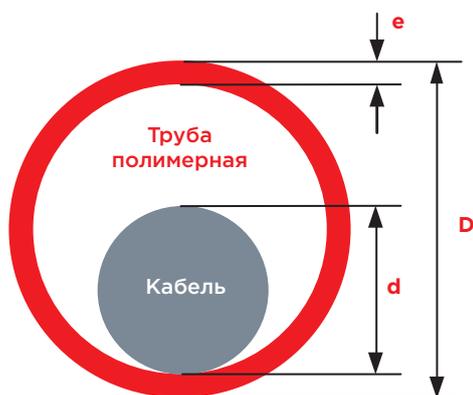


Рис. 3. Труба с проложенным в ней кабелем

При выборе наружного диаметра труб D должно быть выполнено следующее условие:

$$D \geq D_T = K_T \cdot d + 2 \cdot e$$

где:

- D — наружный диаметр трубы, мм;
- D_T — минимально допустимый наружный диаметр трубы, мм;

K_T — коэффициент запаса;

d — наружный диаметр кабеля, укладываемого в трубу, мм;

e — показатель, соответствующий высоте ребра для труб ПЛ КС/КН и ПротекторФлекс® БК(Т)/СТ(Т) или толщине стенки для труб ПЛ ПС/ПН и ПротекторФлекс® ПРО(-ОМП)/БК(-ОМП)/СТ(-ОМП), мм.

Коэффициент запаса K_T позволяет исключить заклинивание кабеля при его укладке в трубу и учитывает следующие факторы:

- допустимые отклонения от номинальных геометрических размеров кабеля и трубы;
- допустимую овальность трубы из-за ее деформации под воздействием нагрузки от веса грунта (и транспорта);
- наличие грата на внутренней поверхности трубы в местах ее стыковой сварки.

Согласно п. 7.2.12 СТО 56947007-29.060.20.020-2009 ПАО «ФСК ЕЭС» «Методические указания по применению силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 10 — 35 кВ» коэффициент запаса K_T зависит от числа кабелей, уложенных в трубе. Возможные значения K_T приведены в таблице 2.

Таблица 2

Значения коэффициента запаса K_T в зависимости от количества кабелей в пучке

Количество кабелей в пучке	Коэффициент запаса K_T
1	1,5
2	3,0
3	3,23
4	3,62
5	4,5
6	4,5
7	4,5
8	4,95
9	5,75

Показатель e зависит от марки трубы, а также от ее диаметра D и кольцевой жёсткости SN . Он соответствует:

— значению высоты ребра для труб ПЛ КС/КН (см. таблицу 3) и ПротекторФлекс® БК(Т)/СТ(Т) (см. таблицу 4);

— значению толщины стенки для труб ПЛ ПС/ПН и ПротекторФлекс® ПРО(-ОМП)/БК(-ОМП)/СТ(-ОМП) (см. таблицу 5).

Таблица 3

Высота ребра e в зависимости от диаметра D и кольцевой жесткости SN для труб ПЛ КС/КН

Наружный диаметр трубы D , мм	Кольцевая жесткость трубы SN , кН/м ²					
	12	16	22	24	32	48
	Высота ребра e , мм					
63	7,5					
75	9,5					
90	11,0					
110	13,0					
125	15,5					
160	19,5					

Таблица 4

Толщина стенки трубы e в зависимости от диаметра D и кольцевой жесткости SN для труб ПротекторФлекс® БК(Т) и СТ(Т)

Наружный диаметр трубы D , мм	Кольцевая жесткость SN , кН/м ²			
	12	24	32	48
	Толщина стенки трубы e , мм			
63	-	-	7	7,5
110	10	11	11,5	12
160	12,5	14,5	16	17,5

Таблица 5

Толщина стенки трубы e в зависимости от диаметра D и кольцевой жесткости SN для труб ПротекторФлекс® ОМП, ПРО, БК, СТ, и ПЛ ПС/ПН

Наружный диаметр трубы D , мм		Кольцевая жесткость SN , кН/м ²							
		12	16	24	32	48	64	96	
		Толщина стенки трубы e , мм							
63*	ПротекторФлекс® БК, СТ, ПЛ ПС/ПН	ПротекторФлекс® ПРО, ОМП	3,2	3,5	4	4,3	4,9	5,4	6,1
75*			3,8	4,2	4,7	5,2	5,9	6,4	7,2
90*			4,6	5	5,7	6,2	7	7,7	8,7
110			5,6*	6,1	6,9	7,6	8,6	9,4	10,6
125			6,3*	6,9	7,9	8,6	9,8	10,7	12
140			7,1*	7,8	8,8	9,6	10,9	11,9	13,5
160			8,1	8,9	10,1	11	12,5	13,6	15,4
180			9,1	10	11,3	12,4	14	15,3	17,3
200			10,1	11,1	12,6	13,8	15,6	17	19,3
225			11,4	12,5	14,2	15,5	17,6	19,2	21,7
250			12,7	13,9	15,7	17,2	19,5	21,3	24,1
280			14,2	15,5	17,6	19,3	21,8	23,9	27
315			15,9*	17,5	19,8	21,7	24,6	26,8	30,4
355			18	19,7	22,3	24,4	27,7	30,3*	34,2*
400			20,2	22,2	25,2	27,5	31,2	34,1	38,5
450			22,8	24,9	28,3	31	35,1	38,3	43,4
500			25,3	27,7	31,5	34,4	39	42,6	48,2
560			28,3	31	35,3	38,6	43,7	47,7	54
630	31,9	34,9	39,7	43,4	49,2	53,7	-		

Примечание:

Наружный диаметр труб ПротекторФлекс® ПРО указан без учета толщины защитного покрытия.

* Производится в однослойном исполнении.

3. Механический расчет при прокладке труб бестраншейным способом (ГНБ)

При прокладке бестраншейным способом (ГНБ) механический расчет следует выполнять для гладкостенных труб ПротекторФлекс® ПРО(-ОМП)/БК(-ОМП)/СТ(-ОМП) и ПЛ ПС/ПН.

Спиральные трубы ПЛ КС/КН, а также трубы со структурированной стенкой ПротекторФлекс® БК(Т)/СТ(Т) не предназначены для прокладки способом ГНБ, и поэтому их механический расчет для этого случая не выполняется.

3.1. Расчетные случаи для выбора кольцевой жесткости трубы SN (SN_1 , SN_2 , SN_3)

Итоговое значение кольцевой жесткости SN для труб, прокладываемых бестраншейным способом (ГНБ), выбирается из полученных расчетных значений SN_1 , SN_2 , SN_3 , принимая наибольшее из них:

- SN_1 — минимально допустимая кольцевая жесткость по условию давления на трубу от веса грунта и транспорта на концевых участках бурового канала ГНБ, кН/м²;
- SN_2 — минимально допустимая кольцевая жесткость по условию усилия тяжения трубы в буровом канале ГНБ, кН/м²;
- SN_3 — минимально допустимая кольцевая жесткость по условию давления на трубу от веса грунта и бентонита в точке максимального заглубления бурового канала ГНБ, кН/м².

3.2. Выбор кольцевой жесткости трубы от веса грунта и транспорта на концевых участках бурового канала (SN_1)

При прокладке трубы способом ГНБ расчет нагрузки от веса грунта и транспорта согласно п. Л.5.1 СП 42-101-2003 следует проводить не от всего столба грунта над трубой, а лишь от его части, которая является сводом обрушения (обычно не превышает 2 м). Таким образом, на концевых участках бурового канала расчет нагрузки q выполняется:

— если глубина заложения трубы $H \geq 2$ м, то при $H = 2$ м;

— если глубина заложения трубы $H < 2$ м, то при фактическом значении H .

Кольцевая жесткость SN_1 определяется по величине нагрузки q аналогично тому,

как это делается для прокладки труб траншейным способом, однако секущий модуль грунта здесь принимается соответствующим засыпке трубы обратным грунтом и составляет $E_s = 0$.

$$SN_1 \geq 0,458 \cdot q$$

где:

- SN_1 — минимально допустимая кольцевая жесткость по условию давления на трубу на концевых участках бурового канала ГНБ, кН/м²;
- q — вертикальная нагрузка на трубу, кН/м²;

Полученное значение SN_1 должно быть округлено до ближайшего большего из стандартного ряда: 12, 16, 24, 32, 48, 64, 96 кН/м².

3.3. Выбор кольцевой жесткости трубы по условию усилия тяжения (SN₂)

При прокладке трубы способом ГНБ она подвергается не только вертикальной нагрузке от веса грунта и транспорта (в процессе эксплуатации трубы), но и воздействию от продольной силы фактического усилия тяжения F (в процессе протяжки трубы в буровом канале, *рисунок 4*).

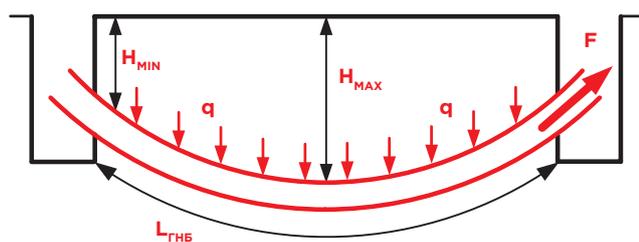


Рис. 4. Протяжка трубы в буровом канале

Фактическое усилие тяжения трубы F , которое необходимо приложить для протяжки трубы через буровой канал, обусловлено силой трения трубы о стенки канала. Величина этой силы трения зависит от количества грунта, обвалившегося на трубу вследствие плохого закрепления буровым раствором (бентонитом) стенок бурового канала или полной невозможности их закрепления.

Формула расчета фактического усилия тяжения F рассматривает наихудший сценарий протяжки, учитывающий обвал грунта на протяжении всей длины $L_{ГНБ}$ бурового канала:

$$F = \frac{1,96}{f \cdot N} \cdot D_{ЭКВ}^2 \cdot K_{ДШ} \cdot 10^{-6} \cdot L_{ГНБ}$$

где:

- F — фактическое усилие тяжения, кН;
- f' — коэффициент крепости пород по М. М. Протодьядяконову (*таблица 8*);
- N — число труб в пучке, шт;
- $D_{ЭКВ}$ — эквивалентный диаметр пучка труб, мм (*таблица 6*);
- $K_{ДШ}$ — коэффициент расширения бурового канала (*таблица 7*);
- 10^{-6} — коэффициент перевода размерности мм² в м²;
- $L_{ГНБ}$ — фактическая длина бурового канала, м.

Эквивалентный диаметр пучка труб, каждая из которых имеет наружный диаметр D , определяется согласно *таблице 6*. При этом выбор наружного диаметра трубы D выполняется по методике, приведенной ранее для случая прокладки траншейным способом, где следует использовать толщину стенки трубы e , определяемую на основе предварительно принятой кольцевой жесткости $SN=SN_T$.

Таблица 6

Эквивалентный диаметр $D_{ЭКВ}$ пучка из N труб (каждая труба диаметра D)

Число труб N	$D_{ЭКВ}$
1	1·D
2	2·D
3	2,15·D
4	2,41·D
5	3·D
6	3·D
7	3·D
8	3,3·D
9	3,83·D

Таблица 7

Значение коэффициента расширения $K_{дш}$ в зависимости от длины бурового канала ГНБ $L_{ГНБ}$

Длина бурового канала ГНБ $L_{ГНБ}$, м	Коэффициент расширения $K_{дш}$
До 49	1,2
От 50 до 99	1,3
От 100 до 299	1,4
Более 300	1,5

Таблица 8

Шкала крепости пород по М. М. Протоdjаконову

f'	Тип породы
2,0	антрацит, галька сцементированная, гипс, грунт каменистый, грунт мерзлый, известняк очень мягкий, мел, мергель обыкновенный, песчаник разрушенный, сланец мягкий, соль каменная
1,5	галька слежавшаяся с щебнем, глина отвердевшая, грунт щебенистый, сланец разрушенный, уголь каменный крепкий
1,0	грунт глинистый, глина плотная, каменный уголь мягкий, нанос крепкий
0,8	глина песчанистая легкая, гравий, лесс
0,6	земля растительная, песок сырой, суглинок легкий, торф
0,5	гравий мелкий, земля насыпная, осыпи, песок, уголь добытый
0,3	грунт болотистый, грунт разжиженный, пловуны слабые
0,1	пловуны сильные

После нахождения фактического усилия тяжения F трубы с предварительно принятым наружным диаметром трубы D необходимо выбрать такое минимальное значение кольцевой жесткости SN_2 , чтобы предельное усилие тяжения трубы F_{MAX} удовлетворяло следующему условию:

$$F_{MAX} \geq \frac{F}{F/F_{MAX}}$$

где:

F/F_{MAX} — коэффициент запаса (принимается равным 0,5).

Предельное усилие тяжения каждой трубы F_{MAX} зависит от ее геометрических размеров (диаметра D и толщины стенки e), а также от свойств материала трубы:

$$F_{MAX} = \frac{\pi \cdot (D^2 - (D - 2 \cdot e)^2)}{4} \cdot \frac{\sigma}{1000}$$

где:

- D — наружный диаметр трубы, мм;
- e — толщина стенки трубы, мм;
- σ — предел текучести материала трубы, МПа.

Значение F_{MAX} необходимо не только на стадии проектирования при выборе кольцевой жесткости SN_2 , но также и на стадии выполнения работ по затяжке труб в буровой канал, когда оператор ГНБ-установки должен контролировать фактическое усилие тяжения F и прервать процесс затяжки пучка из N труб, если фактическое значение F превысит безопасный уровень $0,5F_{MAX}$.

Значения предельного усилия тяжения F_{MAX} труб в зависимости от диаметра и кольцевой жесткости приведены в таблице 9.

Таблица 9

Значения предельного усилия тяжения F_{MAX} в зависимости от диаметра D и кольцевой жесткости SN для труб ПротекторФлекс® ОМП, ПРО, БК, СТ и ПЛ ПС/ПН

Наружный диаметр трубы D , мм	Кольцевая жесткость SN , кН/м ²						
	12	16	24	32	48	64	96
	Предельное усилие тяжения F_{MAX} , кН						
63	13	14	15	17	19	20	23
75	18	19	22	24	27	29	32
90	26	28	32	34	38	42	47
110	38	42	47	51	57	62	70
125	50	55	60	65	75	80	90
140	62	68	75	83	93	100	115
160	80	90	100	110	120	130	145
180	105	115	125	135	155	170	185
200	125	140	155	170	190	205	230
225	160	175	195	215	240	260	290
250	200	215	245	265	300	320	360
280	250	270	305	330	370	400	450
315	315	345	385	420	470	510	570
355	400	435	490	535	600	650	725
400	510	550	625	675	760	820	920
450	640	700	790	855	960	1040	1160
500	790	865	975	1060	1190	1290	1440
560	990	1080	1220	1330	1490	1610	1800
630	1260	1370	1550	1680	1880	2040	-

3.4. Выбор кольцевой жесткости трубы от веса грунта на максимальной глубине бурового канала (SN_3)

При прокладке трубы способом ГНБ помимо концевых участков следует также рассматривать максимальную глубину H_{MAX} бурового канала и учитывать возникающую там нагрузку от свода обрушения грунта и от давления бентонита. Нагрузка от транспорта на максимальной глубине H_{MAX} не учитывается, поскольку она распределяется по объему грунта и удерживается сводом равновесия бурового канала.

Минимально допустимая кольцевая жесткость SN_3 на глубине H_{MAX} может быть найдена как:

$$SN_3 = 0,458 \cdot q_{\Gamma} + \frac{P}{24 \cdot P/P_{MAX}}$$

где:

SN_3 — минимально допустимая кольцевая жесткость по условию давления на трубу веса грунта и бентонита на глубине H_{MAX} , кН/м²;

q_{Γ} — вертикальная нагрузка на трубу от веса грунта на глубине H_{MAX} , кН/м²;

P — давление бентонита, кН/м²;

P/P_{MAX} — коэффициент запаса (принимается равным 0,5).

Вертикальная нагрузка на трубу от веса грунта на глубине H_{MAX} определяется величиной свода обрушения грунта H_{Γ} на этой глубине:

$$q_{\Gamma} = p_{\Gamma} \cdot g \cdot H_{\Gamma}$$

где:

p_{Γ} — удельный вес грунта, т/м³ (обычно не более 2 т/м³);

g — гравитационная постоянная Земли, м/с² (принимается равным 9,8 м/с²);

H_{Γ} — свод обрушения грунта, м.

Свод обрушения грунта зависит от диаметра производимой скважины, а также от характеристик грунта, в котором осуществляется бурение:

$$H_{\Gamma} = \frac{D_{PШ}}{2 \cdot f'}$$

где:

$D_{PШ}$ — диаметр расширителя бурового канала, м;
 f' — коэффициент крепости пород по М. М. Протоdjьяконову.

Диаметр расширителя бурового канала вычисляется следующим образом:

$$D_{PШ} = K_{ДШ} \cdot D_{ЭКВ} \cdot 10^{-3}$$

где:

$D_{ЭКВ}$ — эквивалентный диаметр пучка труб, мм (таблица 6);

$K_{ДШ}$ — коэффициент расширения бурового канала (таблица 7);

10^{-3} — коэффициент перевода размерности мм в м.

Давление бентонита P определяется как:

$$P = P_{И} + p_{Б} \cdot g \cdot H_{MAX}$$

где:

$P_{И}$ — избыточное давление бентонита, кН/м² (принимается равным 200 кН/м²);

$p_{Б}$ — плотность бентонита, т/м³ (обычно не более 1,5 т/м³);

g — гравитационная постоянная Земли, м/с² (принимается равной 9,8 м/с²);

H_{MAX} — максимальная глубина прокладки до верхнего края трубы, м.

Полученное значение SN_3 и должно быть округлено до ближайшего большего из стандартного ряда: 12, 16, 24, 32, 48, 64, 96 кН/м².

3.5. Окончательный выбор кольцевой жесткости трубы SN

Окончательное значение кольцевой жесткости SN для труб, прокладываемых способом ГНБ, выбирается как наибольшее из SN_1, SN_2, SN_3 .

Примечание: если итоговое значение кольцевой жесткости трубы SN превышает значение SN_1 , то необходимо сделать повторную проверку

наружного диаметра трубы D (по методике, приведенной для траншейного способа, см. п. 2.2). Если наружный диаметр трубы D окажется недостаточным, то следует увеличить диаметр трубы D , после чего заново рассчитать SN_2, SN_3 согласно пунктам 3.3 — 3.4 и выбрать итоговое значение SN .

Энерготэк разработал специальный комплекс программ для проектирования кабельных линий



Программа «Труба»

Для механического расчета и выбора труб

pipe.energotek.ru



Программа «Кабель»

Для теплового расчета и выбора сечения жилы кабеля

cable.energotek.ru



Программа «Экран»

Для электрического расчета и выбора схемы заземления экранов кабеля

ekran.energotek.ru

Для получения бесплатного доступа к программам, посетите сайт energotek.ru

Минимальный радиус изгиба

Согласно СП 40-102-2000, минимальный радиус изгиба трубы r_{MIN} можно оценить по формуле:

$$r_{MIN} = \frac{E \cdot D}{2 \cdot \sigma}$$

где:

E — модуль упругости материала трубы при растяжении, МПа;

σ — предел текучести материала трубы при растяжении, МПа;

D — наружный диаметр трубы, мм.

Например, при $E = 850$ МПа и $\sigma = 21$ МПа минимальный радиус изгиба будет составлять величину $r_{MIN} = 20 \cdot D$.

Согласно опыту прокладки, минимальный радиус изгиба трубы зависит в том числе и от температуры среды на момент прокладки, а также от класса кольцевой жесткости трубы SN .

Таблица 10

Минимальный допустимый радиус изгиба трубы r_{min} в зависимости от температуры при укладке

Температура при укладке	0°C	10°C	20°C
Минимальный допустимый радиус изгиба	50D	35D	20D

