

Механический расчет полимерных труб для кабелей

В последние годы в России появляются проекты, в которых кабельные линии классов 6 кВ и выше прокладываются в полимерных трубах, размещаемых в грунте открытым способом или методом горизонтально-направленного бурения (ГНБ). Во многих случаях в проектах, по сути, отсутствует механический расчет труб и выбор их прочностных характеристик. На нескольких объектах это уже приводило к применению неподходящих труб, их деформации на стадии монтажа настолько, что затяжка кабеля в трубу была крайне затруднена и даже невозможна, не говоря уже об извлечении кабеля в процессе эксплуатации с целью его ремонта или замены. В [1] отмечалось, что одной из причин сложившегося положения дел является отсутствие доступных для понимания методик расчета. Предложим такую методику, которая в первом приближении позволит оценивать достаточные прочностные характеристики труб для прокладки кабелей.

Михаил ДМИТРИЕВ, к.т.н., доцент
Санкт-Петербургского политехнического университета

ВВЕДЕНИЕ

Значительная часть труб, которые пока еще применяются для нужд кабельных сетей 6–500 кВ – это трубы холодного водоснабжения, выпускаемые по ГОСТ 18599 из полиэтилена марок ПЭ 63, ПЭ 80, ПЭ 100. Такие трубы чаще всего имеют черный цвет и нанесенные снаружи продольные полосы синего цвета, также они известны как «ПНД трубы», однако у ПЭ труб встречается и покрытие красного цвета.

Трубы из ПЭ 63, ПЭ 80, ПЭ 100 вне зависимости от цвета не предназначены для прокладки кабелей, а для этих целей следует применять специализированные трубы, не имеющие никакого отношения к системам водоснабжения.

Системы холодного водоснабжения предполагают, что внутри труб есть высокое избыточное давление, препятствующее деформации трубы из-за действия грунта. Если же водопроводная труба используется для прокладки кабелей, то очевидно, никакого внутреннего давления здесь нет, и деформации могут оказаться значительными. Следовательно, для

выполнения механических расчетов кабельных труб не вполне корректно использовать методики и классификацию, характерные для напорных систем, а надо внимательно изучить имеющиеся наработки в части безнапорных систем, к которым относятся, например, системы водоотведения.

Классификация безнапорных труб традиционно производится не по величине стандартного размерного отношения (SDR), а по классу кольцевой жесткости (SN). Принципиальное отличие SDR и SN в том, что SDR — это всего лишь геометрическая характеристика трубы (отношение внешнего 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 и толщины ее стенки, а еще и от модуля упругости E материала при сжатии. Учитывая изложенное, электро-

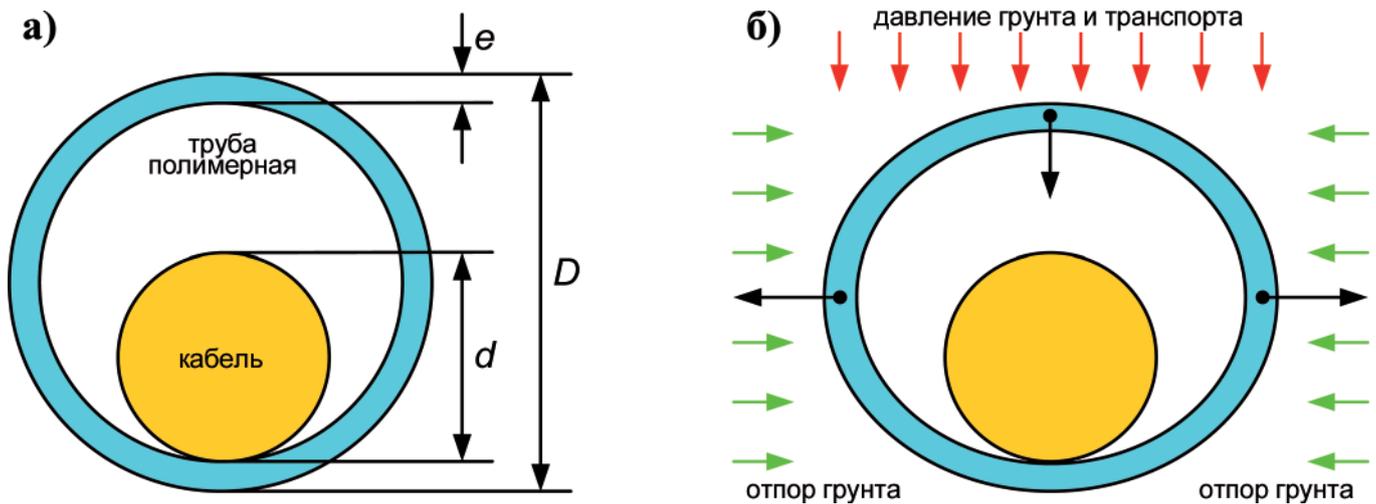


Рис. 1. Полимерная труба с кабелем: без давления грунта (а), с давлением грунта (б)

энергетики должны быть заинтересованы в уходе от классификации по SDR , характерной для систем водоснабжения, и переходу к более информативному ранжированию кабельных труб по кольцевой жесткости SN . За счет перехода на SN энергетики в определенной степени смогут снять с себя ответственность за поведение труб в условиях механических нагрузок и возложить ее на плечи производителя труб, гарантирующего SN и прочность.

Если в маркировке труб будет присутствовать их кольцевая жесткость SN , то проектные организации перестанут путать кабельные трубы с водопроводными. Также теперь недобросовестным монтажным организациям будет сложнее закупать и укладывать трубы из вторичного сырья, поскольку они не нормируются по SN , и любые махинации с качеством труб могут быть легко выявлены службой качества Заказчика путем элементарных испытаний отрезков труб на SN . Кроме того, весьма немаловажным аргументом в пользу перехода на SN являются простые и доступные для понимания методики механических расчетов. Дело в том, что SN , по своей сути, это допустимое давление на трубу извне, и поэтому, зная такое давление, марка трубы получается автоматически.

Предложим формулы, которые позволят всем заинтересованным оперативно выбрать параметры кабельной трубы в зависимости от условий ее прокладки. Для такого оценочного расчета требуется лишь минимальный набор исходных данных.

ДИАМЕТР ТРУБЫ И ТОЛЩИНА СТЕНКИ

На рисунке 1а показана труба внешнего диаметра D и толщины стенки e , внутри которой проложен 1 кабель внешним диаметром d . В случае, когда в трубе уложено сразу три однофазных кабеля (рисунок 2а), под величиной d следует понимать некий эквивалентный диаметр

$$d_{\text{ЭКВ}} = 2 \cdot (0,5d + x) = 2,15d, \text{ где } x = 0,5d \cdot (2/\sqrt{3}).$$

Согласно п.6.11.2 стандарта [2] при выборе внешнего диаметра труб следует придерживаться следующего правила

$$D > 1,5d + 2e. \quad (1)$$

Входящая в (2) толщина стенки трубы e определяется в ходе механических расчетов на основе основной информации об условиях прокладки трубы и опирается на понятие кольцевой жесткости SN .

Связь толщины стенки и кольцевой жесткости устанавливается выражением:

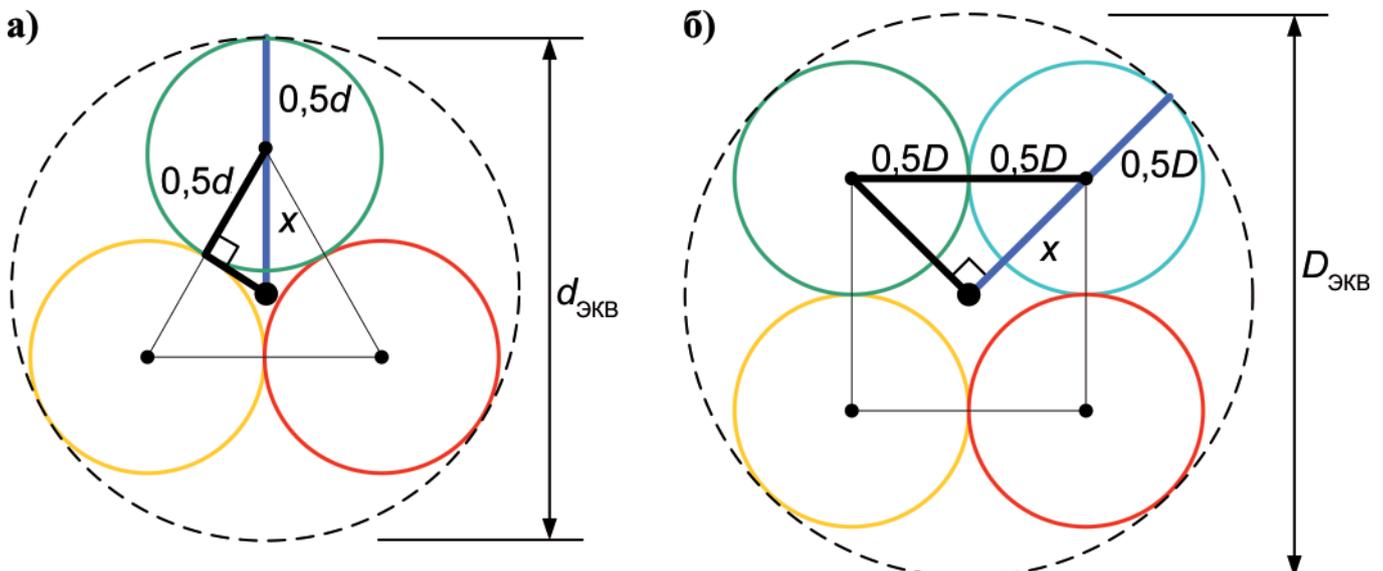


Рис. 2. Определение эквивалентного диаметра пучка из 3-х кабелей (а) или 4-х труб (б)

$$SN = \frac{E}{12} \left(\frac{e}{D_m} \right)^3, \quad e = D / \left(1 + \sqrt[3]{\frac{E}{12 \cdot SN}} \right), \quad (2)$$

где E — модуль упругости трубы при сжатии, $D_m = (D - e)$ — средний диаметр трубы.

Поскольку по определению $SDR = D/e$, то (2) можно использовать для поиска связи между SN и SDR . При этом очевидно, что две трубы с идентичными SDR , но разными модулями упругости E , обладают различной кольцевой жесткостью SN и допустимыми механическими воздействиями. Именно поэтому кольцевая жесткость SN должна быть напечатана на каждой трубе. В частности, это позволит Заказчику проверить качество материала в независимой лаборатории и удостовериться в том, что труба не получит критических деформаций в грунте и на протяжении всего срока службы линии позволит извлекать или менять кабель в случае необходимости.

Исключительно в качестве примера в таблице 1 даны оценки связи SN и D/e при модуле упругости $E = 950$ МПа. Важно понимать, что на рынке есть полимерные материалы с модулем упругости как меньше этой цифры, так и больше, а есть такие, где модуль упругости и вовсе непредсказуем. Заметим, что (2) дает значения в МПа (0.004, 0.006 и т.п.), но далее для удобства будем указывать SN в кПа или, что тоже самое, в кН/м² (4, 6 и т.п.).

Следует отметить, что типовые SDR напорных труб выражаются числами вроде 13.6, 17, 17.6, которые, как видно, не всегда целые и не всегда равноудалены друг от друга, что неудобно и непонятно. Также для прокладки кабелей применяют трубы всего лишь нескольких значений SDR , и было бы неплохо увеличить число типоразмеров, для того чтобы не переплачивать за толстые трубы в отсутствие в сортаменте менее толстых. Все эти проблемы решаются с переходом на шкалу SN .

Например, в случае применения на объекте труб $SN 32$ кН/м² согласно табл.1 при модуле упругости $E = 950$ МПа найдем $D/e = 14,5$. Если трубы имеют диаметр, скажем, $D = 255$ мм, то толщина стенки составит $e = 15,5$ мм.

Существует два основных способа размещения труб в грунте — это укладка в предварительно подготовленную траншею (рисунок 3а) или затяжка труб в грунт в подготовленный канал, чаще выполняе-

Табл. 1. Связь SN и D/e на примере модуля упругости на сжатие $E = 950$ МПа

SN , кН/м ²	D/e , отн. ед.
4	28,0
6	24,6
8	22,5
12	19,8
16	18,0
24	15,9
32	14,5
48	12,8
64	11,7
96	10,4
128	9,5
192	8,4
256	7,8

Табл. 2. Рекомендации по выбору секущего модуля для песка, которым засыпана труба

Глубина засыпки H , м	Состояние песка, которым засыпана труба		
	Неуплотненный	Уплотненный вручную	Уплотненный механически
1	0,5	1,2	1,5
2	0,5	1,3	1,8
3	0,6	1,5	2,1
4	0,7	1,7	2,4
5	0,8	1,9	2,7
6	1,0	2,1	3,0

мый горизонтально-направленным бурением (рисунок 3б). Предложим методику расчета SN — важной характеристики трубы, на основе которой можно определить не только толщину стенки трубы по (2), но предельное усилие тяжения трубы при ее затаскивании в буровой канал.

УКЛАДКА ТРУБ В ТРАНШЕЕ

Согласно рисунку 1б вертикальное давление грунта (и транспорта) на трубу является силой, приложенной к трубе и стремящейся вызвать ее овальность, однако возникающий «отпор грунта», расположенного по бокам трубы, стремится вернуть форму поперечного сечения трубы к исходному кругу. Таким образом, плотный грунт по бокам трубы — это фактор, повышающий ее механическую прочность.

В [3] для определения относительного прогиба f/D_m безнапорной трубы предлагается использовать выражение (все величины в МПа)

$$f/D_m = 0,11q / (0,15G_o + 0,06E'_s),$$

где E'_s — секущий модуль грунта (МПа), характеризующий жесткость грунта, $G_o = 53,7SN$ — кольцевая жесткость трубы по версии [3], q — интенсивность вертикальной нагрузки грунта с учетом транспорта.

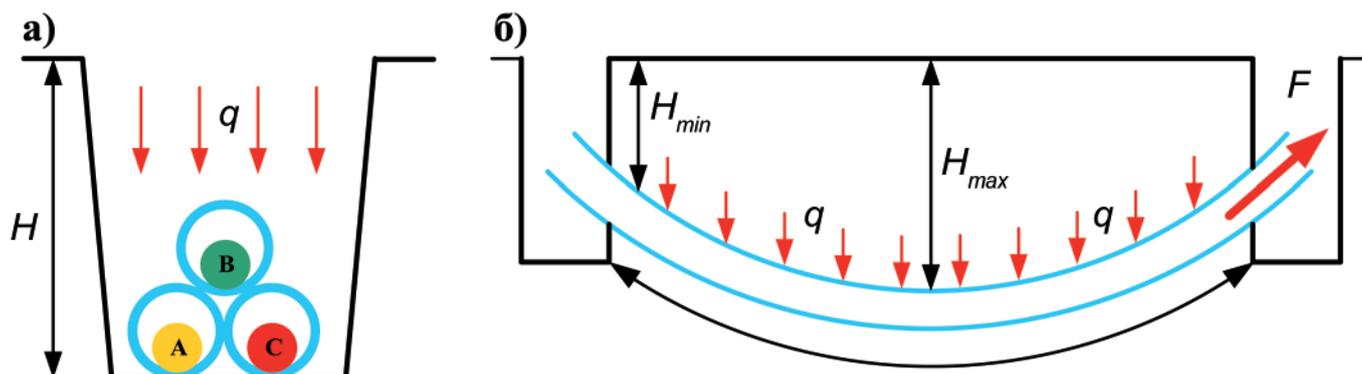


Рис. 3. Основные способы прокладки полимерных труб: траншейный (а), метод ГНБ (б)

Приняв относительный прогиб $f/D_m = 0,03$ (иначе говоря, 3%) найдем

$$SN = 0,458q - 7,5E'_S, \quad (3)$$

где q и SN измеряются уже в кПа (кН/м²), а E'_S по-прежнему измеряется в МПа.

Секущий модуль грунта E'_S зависит от типа грунта, которым засыпается труба, и степени его уплотнения. Как правило, для этих целей используется песок, и тогда рекомендуется использовать данные таблицы 2, основанные на обобщении опыта ряда европейских стран [4]. В остальных случаях рекомендуется принимать $E'_S = 0$.

Вертикальная нагрузка на трубу (кН/м²) складывается из трех составляющих:

$$q = q_{\Gamma} + q_{\text{АТ}} + q_{\text{ЖТ}}, \quad (4)$$

где q_{Γ} — нагрузка от веса грунта (кН/м²), $q_{\text{АТ}}$ — нагрузка от автотранспорта (кН/м²), $q_{\text{ЖТ}}$ — нагрузка от ж/д транспорта (кН/м²).

Нагрузка от грунта может быть определена по [3] методом «в насыпи» или «в траншее» (нагрузка будет меньше из-за арочного эффекта). Рассмотрим наиболее неблагоприятный случай, когда на трубу давит весь столб грунта высотой H

$$q_{\Gamma} = \rho_{\Gamma} \cdot g \cdot H, \quad (5)$$

где ρ_{Γ} — удельный вес грунта (обычно не более 2 т/м³), $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ — ускорение свободного падения, H — глубина расположения трубы под землей (м).

В случаях, когда высок уровень грунтовых вод, следует использовать меньшие значения удельного веса грунта, однако пренебрежем этим эффектом для получения повышенных нагрузок на трубу и выберем ее с должным запасом.

Нагрузка от транспорта согласно [5] может быть определена как (кН/м²)

$$q_{\text{АТ}} = 186 / (2,7 + H), \quad q_{\text{ЖТ}} = 275 / (2,7 + H). \quad (6)$$

Траншейный способ не используется при строительстве кабельных линий под железными дорогами, но встречается для газонов (скверов) и автодорог. В таблице 3 приведены результаты расчета по (3)–(6) предельной глубины H заложения труб кольцевой жесткости SN 4–64 для двух указанных мест прокладки. Видно, что при прокладке труб в траншеях, глубина которых от 1 до 5 м, опасно применять тру-

Табл. 3. Предельная глубина H (м) при прокладке открытым способом под газонами (или скверами) / под автодорогами

SN, кН/м ²	Секущий модуль грунта E'_S (МПа) по данным табл. 2						
	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
	Предельная глубина прокладки H (м)						
4	0,4 / -	0,8 / -	1,3 / -	1,7 / -	2,1 / -	2,5 / -	2,9 / -
6	0,7 / -	1,1 / -	1,5 / -	1,9 / -	2,3 / -	2,7 / -	3,1 / -
8	0,9 / -	1,3 / -	1,7 / -	2,1 / -	2,5 / -	2,9 / -	3,3 / -
12	1,3 / -	1,7 / -	2,1 / -	2,5 / -	2,9 / -	3,4 / -	3,8 / -
16	1,7 / -	2,2 / -	2,6 / -	3,0 / -	3,4 / -	3,8 / 1,7	4,2 / 2,4
24	2,6 / -	3,0 / -	3,4 / 0,7	3,8 / 1,8	4,3 / 2,5	4,7 / 3,0	5,1 / 3,6
32	3,5 / 0,9	3,9 / 1,9	4,3 / 2,5	4,7 / 3,1	5,1 / 3,7	5,5 / 4,2	5,9 / 4,7
48	5,2 / 3,8	5,6 / 4,3	6,1 / 4,8	6,5 / 5,3	6,9 / 5,8	7,3 / 6,2	7,7 / 6,7
64	7,0 / 5,9	7,4 / 6,4	7,8 / 6,8	8,2 / 7,3	8,6 / 7,7	9,0 / 8,2	9,4 / 8,6

бы с кольцевой жесткостью менее 8 и нет необходимости применять трубы с SN более 64.

УКЛАДКА ТРУБ МЕТОДОМ ГНБ

При прокладке методом ГНБ трубы подвергаются двум видам воздействий: во-первых, продольным силам тяжения F , которые возникают при протаскивании трубы в буровой канал, во-вторых, вертикальному давлению грунта и транспорта q уже в процессе эксплуатации трубы (рисунок 3б).

Расчет кольцевой жесткости

Проверку кольцевой жесткости трубы можно выполнить по (3), но следует учесть, что труба затягивается в буровой канал, диаметр которого больше диаметра трубы (или плети труб). Поэтому отпора грунта не возникает, и всегда справедливо $E'_S = 0$. Также давление на трубу оказывает не весь столб грунта, а только небольшая часть, которая определяется понятием «свод обрушения грунта» по [5]. Поэтому в формулу (5) надо подставлять не всю глубину заложения трубы $H = H_{\text{max}}$, а $H = H_{\Gamma}$

$$H_{\Gamma} = D_{\text{РШ}} / 2f', \quad (7)$$

где $D_{\text{РШ}}$ — диаметр расширителя бурового канала (м) по таблице 4, f' — коэффициент крепости грунта по таблице 5 (лежит в диапазоне от 0,1 для плавунцов до 1,5 для твердой глины).

Согласно [5] диаметр расширителя рекомендуется принимать так, как указано в таблице 4. При этом в случае протяжки одиночной трубы имеем $D_{\text{ЭКВ}} = D$, а в случае протяжки плети из четырех труб (три фазных трубы и одна резервная) с помощью рисунка 2б найдем $D_{\text{ЭКВ}} = 2 \cdot (0,5D + x) = 2,41 \cdot D$, где $x = D/\sqrt{2}$.

Табл. 4. Рекомендации [5] по выбору диаметра расширителя

Длина труб $L_{\text{ГНБ}}$	Диаметр расширителя $D_{\text{РШ}}$
Менее 50 м	$D_{\text{РШ}} \geq 1,2D_{\text{ЭКВ}}$
От 50 до 100 м	$D_{\text{РШ}} \geq 1,3D_{\text{ЭКВ}}$
От 100 до 300 м	$D_{\text{РШ}} \geq 1,4D_{\text{ЭКВ}}$
Более 300 м	$D_{\text{РШ}} \geq 1,5D_{\text{ЭКВ}}$

Табл. 5. Рекомендации по выбору коэффициента f' в зависимости от сценария бурения

Сценарий	f'	Характеристика сценария
Тяжелый	0.1	Бентонит не может сформировать стенки канала
Средний	0.5	Стенки канала более менее сформированы
Легкий	0.8	Стенки канала хорошо сформированы

Делая расчеты по (3)–(7) несложно показать, что в отличие от траншейного метода, при ГНБ по мере увеличения глубины H требования к кольцевой жесткости трубы снижаются. Однако применять трубы малых SN нельзя по двум следующим причинам.

Во-первых, вне зависимости от максимальной глубины заложения труб, всегда есть концевые участки, которые приближаются к поверхности грунта, где уже не работает понятие «свод обрушения грунта» и формула $H = H_r$, а на трубу давит весь столб грунта высотой $H = H_{min}$ (рисунок 3б). При глубинах $H = H_{min}$, составляющих не более 1–2 метров, кольцевая жесткость SN может быть взята из расчетов для случая траншейной прокладки, где при указанных H рекомендуется использование труб кольцевой жесткости не менее $SN 8$.

Во-вторых, трубы с малым SN имеют тонкую стенку и небольшое поперечное сечение, а значит они обладают недостаточной способностью выдерживать силы F продольного тяжения при затягивании в буровой канал, могут растянуться и по этой причине потерять стойкость выдерживать давление грунта.

Расчет усилий тяжения

Проверка допустимости усилий тяжения F , возникающих при затягивании трубы (плети труб) в буровой канал, выполняется следующим образом

$$F \leq 0,5 \cdot N \cdot F_{1MAX} \tag{8}$$

где 0,5 — коэффициент запаса, N — число труб в плети (одна или четыре), F_{1MAX} — предельное усилие тяжения каждой трубы (кН), которое может быть найдено как

$$F_{1MAX} = \pi \cdot (D^2 - (D - 2e)^2) / 4 \cdot \sigma / 1000, \tag{9}$$

где D и e — внешний диаметр и стенка трубы (в мм), σ — предел текучести трубы (МПа), 1000 — перевод N в кН.

При расчете усилий F следует учитывать:

- силы трения трубы о грунт внутри канала и за его пределами, зависящие от веса трубы;
- силы, приводящие к снижению веса трубы за счет наличия грунтовых вод;
- силы трения труб на спусках и подъемах бурового канала, в местах его поворота;
- силы трения от обрушившегося на трубу грунта;
- прочие силы.

Суммарное совместное действие перечисленных сил на трубу изменяется в ходе ее протаскивания по каналу, снижаясь или возрастая на определенных этапах. Однако согласно анализу расчетов, выполненных по достаточно сложной методике [6], главное препятствие протаскиванию трубы создают силы трения, возникающие из-за утяжеления трубы под действием навалившегося на трубу грунта вследствие плохого закрепления стенок бурового канала буровым раствором (бентонит) или даже полной невозможностью закрепления (плывуны, тяжелый сценарий).

Табл. 6. Оценки предельной длины бурового канала $L_{ГНБ}$ (м) в зависимости от числа труб N .

SN, кН/м ²	N = 1			N = 4		
	Сценарий, по которому проходит бурение канала					
	Тяжелый	Средний	Легкий	Тяжелый	Средний	Легкий
	Предельная длина бурового канала $L_{ГНБ}$ (м)					
4	38	190	303	26	131	209
6	43	214	342	29	147	236
8	47	235	375	32	162	258
12	53	264	423	36	182	291
16	58	289	462	40	199	318
24	65	324	518	45	223	357
32	70	352	564	49	243	388
48	79	396	633	55	273	436
64	86	428	685	59	295	472
96	96	479	766	66	330	528
128	103	517	828	71	356	570
192	115	574	918	79	395	632
256	123	617	987	85	425	680

Распределенная нагрузка q_r от обвалившегося на трубу грунта определяется по формуле (5), куда подставляется значение свода обрушения $H = H_r$ по (7). Полагая, что труба в буровом канале завалена одновременно по всей длине $L_{ГНБ}$, найдем силу (кН), с которой надо тянуть трубу, чтобы преодолеть ее трение о грунт

$$F = \mu \cdot (q_r \cdot D_{ЭКВ}) \cdot L_{ГНБ}, \tag{10}$$

где q_r — в кН/м² по (5) и (7), $D_{ЭКВ}$ — эквивалентный диаметр плети, μ — коэффициент трения полимерной трубы о грунт (обычно равен 0,2).

Подставив в выражения (5) и (7) удельный вес наиболее тяжелого грунта $\rho_r = 2$ т/м³ и диаметр расширителя $D_{РШ} = 1,5 \cdot D_{ЭКВ}$, по формулам (8)–(10) при $\mu = 0,2$ найдем предельную длину трубы, которую еще можно затянуть в буровой канал без риска ее недопустимого растяжения или даже обрыва

$$L_{ГНБ} \leq 0,165 (F_{1MAX} / D^2) \cdot f' \text{ для } N = 1, \tag{11}$$

$$L_{ГНБ} \leq 0,115 (F_{1MAX} / D^2) \cdot f' \text{ для } N = 4.$$

С помощью (9) несложно показать, что отношение F_{1MAX} / D^2 вычисляется как

$$\frac{F_{1MAX}}{D^2} = \frac{\pi \cdot \left(1 - \left(1 - \frac{2}{D/e}\right)^2\right)}{4} \cdot \frac{\sigma}{1000}, \tag{12}$$

то есть может быть найдено через σ и D/e , где D/e определяется по таблице 1 или (2) в зависимости от кольцевой жесткости SN и модуля упругости E при растяжении. Как видно, важнейшие факторы, определяющие максимально возможную длину $L_{ГНБ}$ трассы, которая может быть единовременно проложена методом ГНБ, таковы:

- кольцевая жесткость трубы SN и число труб в плети N ;
- свойства материала трубы при сжатии E и растяжении σ ;
- свойства грунта и бурового раствора (коэффициент f' по таблице 5).

В качестве примера в таблице 6 представлены расчеты по (11) для различных SN , f , числа труб в плети N . Приняты $E = 950$ МПа, $\sigma = 21$ МПа. Указанные результаты являются ориентировочными и в каждом конкретном проекте должны уточняться с учетом всех влияющих факторов!

МЕТОДИКА ВЫБОРА ТРУБ

1. Найти достаточное значение кольцевой жесткости трубы SN в зависимости от метода и условий прокладки. Удобно пользоваться каталогами, в которых цифры представлены в виде, аналогичном таблице 3 и таблице 6. Во всех случаях применение труб SN менее 8 не рекомендуется.
2. Определить соотношение D/e , отвечающее выбранной кольцевой жесткости SN . Удобно пользоваться расчетами, представленными в виде, аналогичном таблице 1.
3. Подобрать такой диаметр трубы D , при котором найденное соотношение D/e даст толщину стенки трубы e , обеспечивающую выполнение базового условия (1) беспрепятственной затяжки кабеля в трубу.
4. Рассчитать F_{1MAX} по формуле (9) с целью контроля усилий при бурении.

ОБОЗНАЧЕНИЕ ТРУБ

Маркировка трубы для прокладки кабельной линии должна включать в себя параметры D , e , SN , F_{1MAX} . Также обязательным является указание длительно допустимой температуры T , при которой кольцевая жесткость сохраняется не менее всего срока службы кабеля. Для кабельных линий 6–500 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена необходимо использовать трубы, у которых $T > 90^\circ\text{C}$.

Важность температуры T и вопросов термостойкости заключается в том, что, например, трубы, про-

изведенные из обычного полиэтилена марок ПЭ 63, ПЭ 80 или ПЭ 100, даже при температуре всего 80°C сохраняют кольцевую жесткость на срок не более 1 года, чего явно недостаточно.

Параметры D , e , SN и T должны контролироваться при поставках труб на строящиеся объекты. Значение F_{1MAX} может потребоваться позже — уже на стадии выполнения работ по затяжке труб в буровой канал, когда оператор ГНБ установки будет контролировать фактическое усилие тяжения F и прерывать процесс затяжки в случае $F > 0,5 \cdot N \cdot F_{1MAX}$ с целью не допустить обрыва трубы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриев М.В. Овсянникова А.Ю. О полимерных трубах для прокладки кабелей // Электроэнергия: передача и распределение, 2015, № 2. С. 60–63.
2. СТО 56947007-29.060.20.071-2011. Силовые кабельные линии напряжением 110–500 кВ. Условия создания. Нормы и требования // М.: Стандарт ПАО «ФСК ЕЭС», 2011.
3. СП 40-102-2000 «Проектирование и монтаж трубопроводов систем водоснабжения и канализации из полимерных материалов. Общие требования» // М.: Госстрой России, 2001.
4. Швабауэр В., Гвоздев И. Расчет подземного трубопровода из термопластов // НТЦ «Пластик», ЗАО «Завод АНД Газтрубпластик».
5. СП 42-101-2003 «Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем» // М.: Госстрой России, 2003.
6. СТО НОСТРОЙ 2.27.17-2011 «Прокладка подземных инженерных коммуникаций методом горизонтально направленного бурения» // М.: Национальное объединение строителей, 2011.

А.И.Листратенков

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ
ОСНОВЫ
КОНСТРУИРОВАНИЯ
СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ
и проводов

ВНИМАНИЮ СПЕЦИАЛИСТОВ!

Выходит из печати книга А.И. Листратенкова
«ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ
СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ И ПРОВОДОВ»

В книге рассматриваются основные варианты конструктивных исполнений токопроводящих жил (ТПЖ) и кабельных сердечников, которые применяются в производстве силовых кабелей на напряжение переменного тока до 35 кВ и постоянного тока до 75 кВ.

Теоретически обосновываются универсальный метод расчета параметров ТПЖ, технологической оснастки и кабельных сердечников, а также современная технология изготовления силовых кабелей. Практическое применение универсального метода расчета показано на примерах. Главная цель разработки теоретических основ конструирования силовых кабелей — обеспечение качества, надежности, безопасности и заданного срока службы кабельных линий.

Книга предназначена для инженерно-технических работников проектных, заводских и эксплуатационных служб, а также для студентов энергетических вузов.

Цена договорная, обращаться по e-mail:
vmlgram@list.ru или по телефону +7 916 616 3533.