

О цементации пространства между стенками труб и футляра при бестраншейной прокладке трубопроводов

Рецензия эксперта на статью получена
12.09.2024 [The expert review of the article
was received on September 12, 2024]

Строительство и реконструкция трубопроводных систем в городах и посёлках нашей страны и за рубежом методами бестраншейной прокладки труб становятся наиболее приемлемыми и распространяемыми по сравнению с традиционными методами укладки труб в траншеях и коллекторах. В перечень этих методов входит и технология протаскивания новых труб в износившиеся трубопроводы. В основном при восстановлении изношенных трубопроводов применяются полиэтиленовые, полипропиленовые и стеклопластиковые трубы. Эти трубы обладают коррозионной стойкостью, но уступают стальным и чугунным трубам в прочности и жёсткости. Если полимерные трубы укладываются без учёта данной специфики, то они деформируются и выходят из строя в процессе эксплуатации, а нередко и на этапе сдачи трубопровода в эксплуатацию. Трубы деформируются не только из-за традиционных избыточных статических или динамических нагрузок воздействия, но и в случае, когда в зазоры между внутренней поверхностью существующего трубопровода и наружной поверхностью протаскиваемой трубы нагнетается цементный раствор. При недостаточном контроле за нагнетанием цементного раствора в межтрубное пространство и несоблюдении условий размещения новых труб в реконструируемом трубопроводе повреждаются не только полимерные, но и стальные трубы с толщиной стенки более 5 мм. Подобные случаи фиксировались неоднократно, но обоснованных рекомендаций по их недопущению при строительстве и реконструкции трубопроводов в нормативных документах и научной литературе до настоящего времени не приведены, поскольку такого вида повреждения труб не афишировались. Мало того, в новых изданиях нормативных документов регламентируется при бестраншейной прокладке трубопроводов систем водоотведе-

При недостаточном контроле за нагнетанием цементного раствора в межтрубное пространство и несоблюдении условий размещения новых труб в реконструируемом трубопроводе повреждаются не только полимерные, но и стальные трубы

ния выполнять забутовку (цементацию) межтрубных зазоров (СП 32.13330.2018, п. 6.7.6 [1]) без ссылок на методические документы по выполнению таких работ. Отметим, подобных методических указаний для строительства трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения не существует и, возможно, не будет.

Требованиями п. 6.7.6 [1] указывается, что «...после протаскивания труб пространство между ними и футляром следует заполнять специальными растворами». При этом не отмечается, как и зачем заполнять межтрубное пространство, какой пластичности, текучести должен быть раствор, какой должна быть длина участка трубопровода для «забутовки». Обычно связующим в тампонажном растворе используется цементная смесь (рис. 1 и 2).

Подобные требования рекомендовались п. 3.4 Приложения Б [2] в следующем виде: «...при диаметре рабочих труб меньше диаметра обсадных строительный зазор (пространство), образовавшийся между рабочим трубопроводом и внутренней поверхностью выработки, подлежит заполнению тампонажным раствором. Рецептура раствора и порядок заполнения выбираются в проекте в зависимости от условия прокладки». А также требованиями п. 1.2 [3]: «...нагнетание раствора за обделку тоннелей производится с целью заполнения оставшихся за ней пустот и зазоров твердеющими растворами, обеспечивающими совместную работу обделки с окружающим грунтом».

УДК 628.147.1+628.247. Научная специальность: 2.1.4.

О цементации пространства между стенками труб и футляра при бестраншейной прокладке трубопроводов

Л. Г. Дерюшев, к.т.н., доцент, кафедра строительства систем и сооружений водоснабжения и водоотведения. Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (РГГРУ, г. Москва)

Задача данной работы — обоснование требований по условиям цементации межтрубного зазора при бестраншейной прокладке трубопроводов, оценки их прочности и герметичности. На базе данных производственных испытаний тампонирования межтрубных зазоров цементным раствором обоснованы положительные и отрицательные стороны этих работ. Предложена методика оценки параметров воздействия на наружную поверхность трубопровода при цементации межтрубных зазоров и мероприятий по предотвращению деформации труб. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в сокращении материальных затрат, повышении безотказности обеспечения требований потребителей по подаче и отводу воды при реконструкции трубопроводных систем.

Ключевые слова: трубопроводные системы водоснабжения и водоотведения, реконструкция, тампонаж трубопроводов.

UDC 628.147.1+628.247. The number of scientific specialty: 2.1.4.

On cementation of the space between pipe and casing walls during trenchless pipeline installation

L. G. Deryushev, PhD, Associate Professor, Department of Construction of Water Supply and Sanitation Systems and Structures, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting (Moscow)

The task of this scientific work is to substantiate the requirements for the conditions of cementation of the inter-tube gap during trenchless laying of pipelines, to assess their strength and tightness. The positive and negative sides of these works are justified on the basis of production tests of plugging of inter-tube gaps with cement mortar. A method for evaluating the parameters of the impact on the outer surface of the pipeline during the cementation of inter-pipe gaps and measures to prevent pipe deformation is proposed. The significance of the results obtained for the construction industry consists in reducing material costs, increasing the reliability of ensuring the requirements of consumers for the supply and discharge of water during the reconstruction of pipeline systems.

Keywords: pipeline systems of water supply and sanitation, reconstruction, grouting of pipelines.

Нагнетание растворов улучшает статическую работу, уменьшает деформации обделки, предупреждает осадки земной поверхности, обеспечивает герметизацию конструкций и, как следствие, уменьшает их коррозию, повышает долговечность сооружений. Растворы должны вводиться снизу вверх через пробки бетонной или чугунной обделки по всему периметру ствола. После первого этапа делается повторное нагнетание раствора за тоннельную обделку через предварительно просверленные в них отверстия.

Для полимерной или стеклопластиковой трубы деформация с изменением формы её стенки обуславливает нарушение прочности и герметичности изделия. Чтобы избежать деформации трубы, необходимо либо увеличить текучесть и снизить плотность тампонажного раствора, либо предусмотреть дополнительные мероприятия, которые бы обеспечили минимальное воздействие на её прочность.

Сотрудники кафедры строительных материалов Московского государственного строительного университета (МГСУ) проводили испытания различных растворов при тампонировании трубопроводов. Они экспериментально доказали, что качественное заполнение межтрубных зазоров можно обеспечить только раствором с полыми стеклянными и керамическими микросхемами, со средней плотностью до 1400 кг/м³ и растекаемостью 16–20 см. Пластичность раствора позволяет за один этап заполнить межтрубное пространство длиной более 50 м без образования воздушных мешков. Причём пластичность раствора необходимо обеспечивать не за счёт влажности, а рационального набора его составляющих: пластификаторов, минеральных заполнителей.

Без сомнения, правила по нагнетанию растворов между грунтом и наружной поверхностью тоннелей, обсадных труб буровых скважин должны выполняться безукоризненно. Для вертикальных буровых скважин тампонаж необходим для предотвращения попадания загрязнённых вод из межтрубного пространства в водоносные пласты артезианских или грунтовых вод. При цементации тоннелей обеспечивается герметичность и монолитность его конструкции. Но трубопровод системы водоснабжения или водоотведения — не тоннель и не телескопическая скважина большой протяжённости (по вертикали или горизонтали). Для трубопровода, транспортирующего капельную жидкость, попадание грунтовых вод в межтрубные зазоры подземной конструкции опасны не только по условиям загрязнения почвы или транспорти-



Рис. 1. Укладка труб методом бестраншейной прокладки

руемой жидкости, но и из-за возможного увеличения статического или динамического давления на стенки труб. Протаскиваемые в футлярах (в реконструируемых трубопроводах) трубы, как правило, обладают стойкостью к коррозии, герметичны, имеют достаточную несущую способность (с гарантийным сроком более 50 лет). Возникает очевидный вопрос: для чего нормируются рекомендации по забутовке межтрубных зазоров при бестраншейной прокладке трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения? На это в качестве ответа в печати можно встретить довод: «...забутовка межтрубных зазоров необходима для заземления труб, в целях предотвращения перемещения трубопровода при температурных воздействиях» [4].

Цементация зазоров между полиэтиленовым трубопроводом и стальным футляром впервые вынужденно применялась (автором) в городе Москве при выполнении перехода под автомобильной дорогой для подключения системы внутриплощадочной канализации общежития Российского экономического университета (РЭУ) имени Г.В. Плеханова к наружной канализационной сети в районе Павелецкого вокзала. В начале 1990-х годов

в Москве было запрещено применять полимерные трубы для наружных трубопроводных систем водоснабжения и водоотведения. Применение цементации межтрубного пространства конструкции канализационного трубопровода в футляре позволило убедить сотрудников Мосводоканала о надёжности сдаваемого сооружения, а в дальнейшем обосновать укладку для наружных систем водоотведения полимерных труб с условием выполнения цементации межтрубных зазоров. Так сложилась практика цементации межтрубного пространства при бестраншейной прокладке полимерных и стеклопластиковых труб в футлярах или реконструируемых трубопроводах. В качестве тампонажного раствора использовались обычные строительные цементно-песчаные растворы М100 или М200. За счёт разности объёмных весов (плотности) составляющих нагнетаемой массы при закачке цементно-песчаного раствора в межтрубный зазор происходило расслоение раствора на песок и водоцементную массу.

В целях снижения скорости расслоения раствора при его точечной подаче увеличивали давление, а тампонируемая труба при этом деформировалась. Строители, чтобы избежать материальных потерь и избыточных работ, не выполняли проектные решения по тампонажу межтрубных зазоров. При бестраншейной укладке труб ВЧШГ Липецкого завода в проектах систем водоснабжения и водоотведения уже не предусматриваются работы по забутовке межтрубных зазоров.

Для строителей, которые выполняли подобные работы с гарантией качества трубопроводов, смонтированных бестраншейным методом, вопрос о необходимости применения забутовки трубных зазоров вызывал недоумение. Зачем тратить материальные и трудовые ресурсы, если нет такой необходимости? Ответ получить трудно.

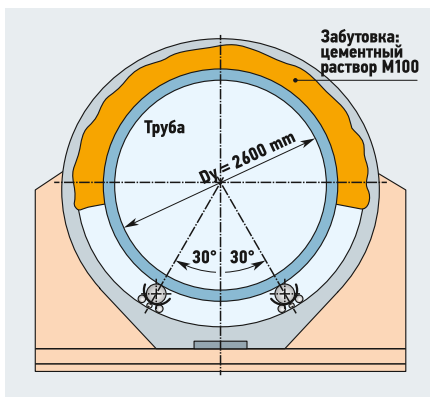


Рис. 2. Узел канализационного коллектора, реконструируемого методом бестраншейной прокладки труб

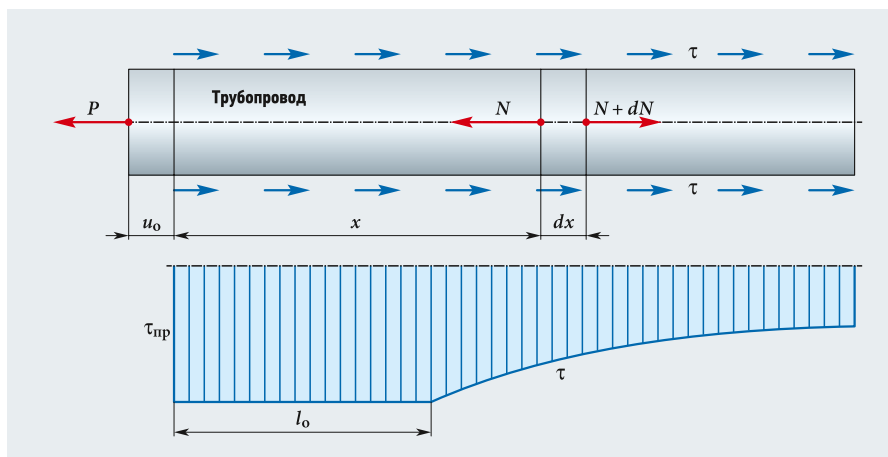


Рис. 3. Модель трубопровода с заземлением

Возможно, справедливо такое обоснование: «для... предотвращения перемещения трубопровода при температурных воздействиях» [4]. Но ещё в 1960-х годах Г.К. Клейн дал пояснения о проведении необходимых мероприятий для снятия осевых усилий и напряжения в трубопроводах [5]. Перемещения труб от температурных воздействий неизбежны. Если этому препятствовать, то трубопроводы будут деформироваться и в конечном итоге повреждаться.

Рассмотрим трубопровод (рис. 3) длиной $L \rightarrow \infty$, диаметром $D_y = 1200$ мм, материал — ПЭ-80. Продольные усилия N_t , возникающие в трубопроводе при температурных воздействиях, определяются по формуле (п. 1, гл. VII [5]):

$$N_t = \alpha \Delta t^\circ E_0 F, \quad (1)$$

где E_0 — модуль упругости материала трубы, МПа или кг/см^2 ; F — площадь поперечного сечения стенки трубы, м^2 или см^2 ; α — коэффициент теплового линейного расширения материала трубы, $1/^\circ\text{C}$; Δt° — разность между максимальной и минимальной температурами трубопровода.

По условию

$$\Delta t^\circ > \Delta t_n^\circ = \frac{T_0}{\alpha n E_0 F}, \quad (2)$$

где $T_0 = \pi D \tau_{\text{пр}} = 3,14 \times 1200 \times 0,5 = 188,4$ кг/см^3 ; $\tau_{\text{пр}}$ — контактные касательные напряжения, которые могут быть приняты для забутовки наиболее плотных грунтов $0,5 \text{ кг/см}^2 = 0,049 \text{ МПа}$, срыв трубопровода от осевых перемещений при температурном воздействии на t° [5] происходит на участке от места заземления:

$$L_0 = \frac{\alpha \Delta t^\circ E_0 \delta}{\tau_{\text{пр}}} \frac{1}{n}, \quad (3)$$

с осевым перемещением

$$u_0 = \frac{1}{2 E_0 F} \left(\frac{\alpha t E_0 F}{T_0} - \frac{T_0}{n^2} \right), \quad (4)$$

$$\text{где } n = \sqrt{\frac{k}{D \delta}} = \sqrt{\frac{2}{1200 \times 4,59}} = 0,0602;$$

k — коэффициент касательного сопротив-

ления. Если принять $E_0 = 8160 \text{ кг/см}^2$ (для полиэтилена), $\Delta t^\circ = 14^\circ\text{C}$ (разность между средней температурой сточных вод и нулевой температурой в колодце в зимний период при опорожнении трубопровода), $\alpha = 2 \times 10^{-4} \text{ } 1/^\circ\text{C}$, $F = 3,14 \times 120 \times 4,59 = 1729,51 \text{ см}^2$, то

$$N_t = 2 \times 10^{-4} \times 14 \times 8160 \times 1729,51 = 39\,515,84 \text{ кг.}$$

При оценке L_0 можно допустить, что сцепление трубы и раствора по всей длине трубопровода не однородно, а разрыв трубопровода произойдёт на расстоянии от наиболее заземлённого его места.

Оценивая осевое перемещение u_0 трубопровода при температурных воздействиях, например, забутованного полиэтиленового трубопровода $D_y = 1200$ мм при $\Delta t^\circ = 14^\circ\text{C}$ (разность между средней температурой сточных вод и нулевой температурой в колодце в зимний период при опорожнении трубопровода), получим следующие величины:

$$\Delta t_{\text{пр}}^\circ = \frac{188,4}{2 \times 10^{-4} \times 0,0609 \times 8160 \times 1729,51} \approx 1,1^\circ\text{C};$$

$$L_0 = \frac{2 \times 10^{-4} \times 14 \times 8160 \times 4,59}{0,5} - \frac{1}{0,0602} = 209,75 - 16,61 = 193,16 \text{ см} \approx 1,93 \text{ м};$$

$$u_0 = \frac{2 \times 10^{-4} \times 14 \times 1729,51}{2 \times 8160 \times 1729 \times 51} - \frac{188,4}{0,0602^2} = 0,018 \text{ см};$$

Из расчётов следует, что разрушение трубопровода произойдёт неминуемо, поскольку $14^\circ\text{C} > 1,1^\circ\text{C}$. Причём, если бы трубопровод не заземлялся, то его удлинение при $\Delta t^\circ = 14^\circ\text{C}$ могло составить:

$$\Delta L = \alpha \Delta t^\circ L = 2 \times 10^{-4} \times 14 \times 150 = 0,42 \text{ м},$$

где 150 — расстояние между смотровыми колодцами, которое допускается для трубопровода $D_y = 1200$ мм (п. 6.3.1 [1]).

На практике при реконструкции канализационных сетей сплошная забутовка межтрубного зазора и заземление труб не соблюдаются по вышеперечисленным причинам. Расслоение цементного рас-

твор и неполное заполнение межтрубных зазоров по длине трубопровода, по сути, спасает трубы от повреждения. Если подавать раствор под высоким давлением в целях снижения времени заполнения межтрубных зазоров и предотвращения образования воздушных мешков, то возникает опасность деформации трубопровода по поперечному сечению (что наблюдалось и на заводах, и на строительных площадках при цементации межтрубных зазоров).

При заполнении межтрубного пространства цементным раствором трубопровод подвергается взвешивающему давлению жидкой среды, избыточному давлению нагнетаемого раствора и весу трубы (рис. 4). Для обеспечения равномерной цементации трубопровода в коллекторе (футляре) рекомендуется устанавливать опоры под трубы — спенсеры. Из-за сравнительно высокой стоимости последние экономятся и устанавливаются произвольно, по усмотрению монтажников.

Допустим, трубопровод из стеклопластиковых труб $D_y = 1400$ мм (параметры $D_{\text{нар}} = 1433,5$ мм, вес 194 кг/м) с толщиной стенки $\delta = 23,7$ мм, жёсткостью $SN = 5000 \text{ Па} = 0,051 \text{ кг/см}^2$ укладывается внутри трубопровода $D_y = 1600$ мм с последующей цементацией межтрубного пространства.

Длина трубы $L = 12$ м. Перед цементацией межтрубные зазоры на концах трубы герметизируются. Труба имеет две точки опоры с пролётом 12 м между ними. Раствор подаётся в межтрубное пространство, заполняет его и, находясь в статическом состоянии, производит воздействие на протаскиваемый трубопровод (рис. 4а). Желательно, чтобы раствор равномерно растекался по длине трубопровода, тогда и гидростатическая нагрузка будет распределяться равномерно, оказывая только постоянное окружное усилие (рис. 4б). В качестве условия выполнения на практике при цементации межтрубных зазоров горизонтально расположенного трубопровода невозможно.

При заполнении межтрубного пространства жидким цементным раствором на трубу по закону Архимеда действует гидростатическое давление:

$$G = \pi \gamma_{\text{взв}} R^2 = 3,14 \times 1400 \times 0,7162^2 = 2254,89 \text{ кг/м} \approx 22,55 \text{ т/м} \approx 22,55 \text{ кг/см}, \quad (5)$$

здесь R — радиус внешней поверхности трубы, м; $\gamma_{\text{взв}}$ — эффективное давление взвешенного скелета раствора [кг/м^3]:

$$\gamma_{\text{взв}} = \frac{\gamma_{\text{ч}} - \gamma_{\text{в}}}{1 + \varepsilon} = \frac{2,75 - 1}{1 + 0,25} = 1400 \text{ кг/м}^3,$$

где γ_c — удельный вес частиц раствора, равный $2,75 \text{ т/м}^3 = 2750 \text{ кг/м}^3$; γ_b — удельный вес воды, т/м^3 ; ϵ — коэффициент пористости, представляющий отношение объёма воды и воздуха в растворе к объёму его твёрдых частиц.

Предельная сила сжатия, на которую рассчитана труба, определяется с учётом зависимости (стандартным данным AWWA или ASTM):

$$SN = F/\Delta y, \quad (6)$$

где F — сила, действующая на кольцо единичной длины, Н/мм; Δy — поперечный прогиб трубы, составляющий 5 % наружного диаметра трубы, мм.

В этой связи сила, которая может восприниматься кольцом трубы $L = 1200 \text{ см}$, составляет:

$$F = 5000 \times 1,02 \times 10^{-5} \times 0,05 \times 143,35 \times 1200 = 438,65 \text{ кг},$$

где $k = 1,02 \times 10^{-5}$ — переводной коэффициент [Па] в $[\text{кг/см}^2]$.

Если концы трубопровода зацементированы (для герметизации межтрубного пространства), то трубопровод, оказываясь, лежать на двух опорах. Таким образом, нагрузка на трубопровод от воздействия раствора составляет $Q = 22,53 \text{ кг/см}$. Допустим, что ширина опоры составляет 12 см (половину кирпича).

Наибольший кольцевой изгибающий момент на всю толщину опоры составит (п. 5, гл. VII [5]):

$$\begin{aligned} M_{\max} &= -0,064 Q R l = \\ &= -0,064 \times 22,55 \times 71,62 \times 1200 = \\ &= -124\,034,38 \text{ кгс·см}. \end{aligned} \quad (7)$$

Примем длину участка стенки трубы над опорой:

$$\begin{aligned} b &= a + 1,664 \sqrt{R \delta} = \\ &= 12 + 1,664 \times \sqrt{71,62 \times 2,37} = 33,67 \text{ см}, \end{aligned} \quad (8)$$

где δ — толщина стенки трубы, принимается $\delta = 2,37 \text{ см}$.

Момент сопротивления расчётного продольного сечения стенки:

$$W = b \delta^2 / 6 = 33,67 \times 2,37^2 / 6 = 31,52 \text{ см}^3. \quad (9)$$

Наибольшие кольцевые нормальные напряжения $\sigma = M/W = 124\,034,38 / 31,52 = 3935,1 \text{ кг/см}^2$, что больше $438,65 \text{ кг/см}^2$, то есть упомянутое выше условие допустимости напряжений не выполняется.

Допустимое напряжение сжатия от действия расчётного давления рекомендуется [6] определять по формуле:

$$\sigma_{\text{доп}} = PR/\delta, \quad (10)$$

где P — распределённая поверхностная нагрузка (от раствора), Па; R и δ — средний радиус и толщина стенки оболочки,

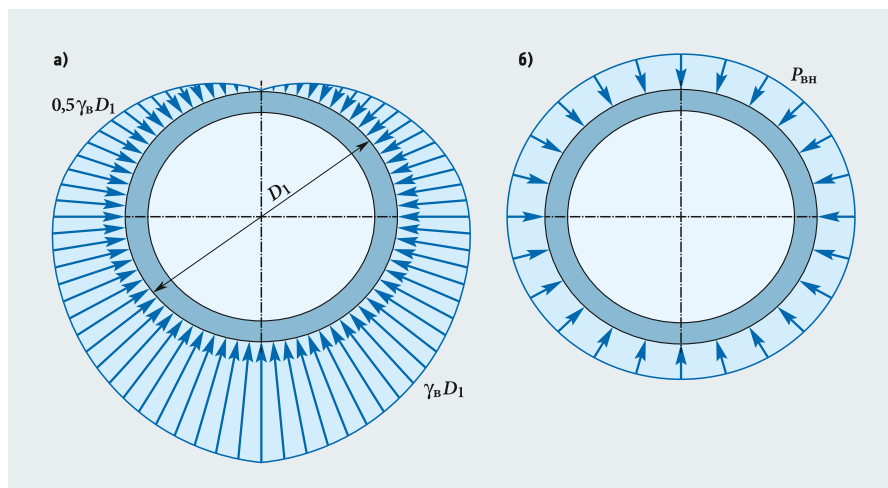


Рис. 4. Схема взвешивающего воздействия цементного раствора на поперечное сечение трубы (а — неравномерное давление, вызывающее изгиб поперечного сечения трубы, б — равномерное давление, вызывающее только постоянное окружное усилие)

соответственно, м; $R = 0,7162$ — радиус внешней поверхности трубы, м.

Рассматривая линейную нагрузку, распределённую по длине трубы (стержня), как удельную поверхностную нагрузку, то есть приводя $F = \pi D/(fL) = P_k$, измеренных в $[\text{кг/см}^2]$, допустимое напряжение $\sigma_{\text{доп}}$, которое воспринимается трубой с гарантией от деформаций, можно оценить по формуле:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{доп}} &= 3935,1 \times 0,7162 / (2,37 \times 1,1) = \\ &= 1081,05 \text{ кгс/см}^2, \end{aligned}$$

где $f = 1,1$ — коэффициент надёжности по нормативной нагрузке при расчёте на всплытие [6].

На практике, чтобы избежать повреждения труб при их цементировании, у трубопровода в футляре (или ремонтируемого трубопровода) уменьшают длину пролёта между опорами (ставят спенсеры).

Чтобы выполнялось условие равенства воздействия нагрузок и прочности трубы, количество пролётов под трубой $l = 12 \text{ м}$ должно быть не меньше:

$$\begin{aligned} n &= \sigma/\sigma_{\text{доп}} = 3935,1/1081,05 = \\ &= 3,64 \approx 4 \text{ шт.} \end{aligned}$$

В этом случае расстояние между опорами составит $\Delta l = 12/4 = 3 \text{ м}$.

Когда расчёты на прочность трубопроводов не выполняют, но опасаются повреждения труб при заполнении межтрубного пространства цементным раствором, раствор заливают в зазор между трубами в три этапа: первый, второй и третий, то есть заливают раствор на высоту $D_{\text{ф}}/3,33$ за каждый этап, где $D_{\text{ф}}$ — диаметр футляра.

При большой протяжённости цементируемого трубопровода выставить требуемое количество опор в межтрубном пространстве не всегда возможно. Применение спенсеров увеличивает стоимость строительства (реконструкции) трубопровода. В целях сокращения материальных расходов и предотвращения деформаций трубопровода цементацию межтрубного

пространства выполняют частично: цементируют трубопровод по его концам. При всём желании зацементировать трубопровод по всей длине обычным цементным раствором не удастся ещё и по той причине, что раствор не обладает достаточной текучестью и пластичностью.

Заключение

В существующей нормативной и научной литературе отсутствуют обоснования необходимости цементации межтрубного пространства при бесканальной прокладке трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения.

При цементации пространства между стенками труб и футляра необходимо учитывать гравитационное воздействие раствора на трубопровод. Для цементирования межтрубного пространства надо использовать тампонажные растворы с полыми стеклянными и керамическими микросхемами, имеющие среднюю плотность до 1400 кг/м^3 и растекаемость 16–20 см. Тампонировать цементным раствором межтрубное пространство при бесканальной прокладке герметичного трубопровода, не обладающего пластичностью, нецелесообразно. ●

- СП 32.13330.2018. Канализация. Наружные сети и сооружения [СНиП 2.04.03–85] (с Изм. №1–3) / Дата введ.: 26.06.2019.
- ТСН 40-303–2003 г. Москвы [МГСН 6.01-03]. Бестраншейная прокладка коммуникаций с применением микротоннелепроходческих комплексов и реконструкция трубопроводов с применением специального оборудования / Дата введ.: 03.08.2004.
- ВСН 132-92. Правила производства и приёмки работ по нагнетанию растворов за тоннельную обделку / Дата введ.: 01.03.1993.
- Орлов В.А., Хургин Р.Е., Пименов А.В. К вопросу обоснования необходимости забутовки межтрубного пространства при реновации инженерных сетей // Вестник МГСУ, 2010. №3. С. 123–128.
- Клейн Г.К. Расчёт подземных трубопроводов. — М.: Стройиздат, 1969. 240 с.
- Баклашов И.В., Картозия Б.А. Механика подземных сооружений и конструкций крепей. Изд. 3-е, перераб. и доп. — М.: Недра, 2012. 543 с.

References — see page 80.

On cementation of the space between pipe and casing walls during trenchless pipeline installation. Pp. 9–12.

Leonid G. Deryushev, PhD, Associate Professor, the Department of Construction of Water Supply and Sanitation Systems and Structures, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting (Moscow)

1. SP 32.13330.2018 [The Code of Practice on Design and Construction (The Code of Practice of Russia) No. 32.13330.2018]. *Kanalizatsiya. Naruzhnye seti i sooruzheniya* [SNiP 2.04.03–85] (s Izm. №1–3) [Sewerage. External networks and structures [Building Rules & Regulations (National Codes and Standards of Russia) No. 2.04.03–85] (with Amendments No. 1–3)]. Date of impl.: June 26, 2019. [In Russian]
2. TSN 40-303–2003 g. Moskvy (MGSN 6.01-03) [Territorial Building Codes No. 40-303–2003 of Moscow city (Moscow City Building Codes No. 6.01–03)]. *Bestranshejnaya prokladka kommunikatsij s primeneniem mikrotonneleprokhodcheskikh kompleksov i rekonstruktsiya truboprovodov s primeneniem spetsial'nogo oborudovaniya* [Trenchless laying of communications using microtunnel boring machines and reconstruction of pipelines using special equipment]. Date of impl.: August 3, 2004. [In Russian]
3. VSN 132-92 [Departmental Building Codes No. 132–92]. *Pravila proizvodstva i priemki rabot po nagnetaniju rastvorov za tunnel'nuju obdelku* [Rules for the production and acceptance of work on injection of solutions behind the tunnel lining]. Date of impl.: March 1, 1993. [In Russian]
4. V.A. Orlov, R.E. Khurgin, A.V. Pimenov. *K voprosu obosnovaniya neobходимosti zabutovki mezhtrubnogo prostranstva pri renovatsii inzhenernykh setej* [On the issue of justifying the need for backfilling the interpipe space during the renovation of utility networks]. *Vestnik MGSU* [Bulletin of Moscow State University of Civil Engineering (Vestnik MGSU)]. 2010. No. 3. Pp. 123–128. [In Russian]
5. G.K. Klein. *Raschet podzemnykh truboprovodov* [Calculation of underground pipelines]. Moscow. *Strojizdat* [Publishing House of Literature on the Construction and Architecture (“Stroiizdat” Publishers)]. 1969. 240 p. [In Russian]
6. I.V. Baklashov, B.A. Kartozia. *Mekhanika podzemnykh sooruzhenij i konstruktivnykh krepej*. 3rd edition, rev. and exp. Moscow. *Nedra* [“The entrails of the Earth” Publishers]. 2012. 543 p. [In Russian]