

# К ВОПРОСУ О МЕРАХ ПО БОРЬБЕ С ТЕМПЕРАТУРНОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Дмитрий Гусев, Евгений Бутринов

## Особенности поведения полимерных трубопроводов при тепловом расширении

Температурные колебания возможны как в системах холодного водоснабжения, так и в системах канализации и водоотведения.

Для расчета величины линейного расширения  $\Delta L$  обычно используют формулу:

$$\Delta L = \alpha \cdot \Delta T \cdot L \quad (1)$$

где:  $\alpha$  – коэффициент линейного термического расширения,  $1/^\circ\text{C}$  (для полиэтилена  $\alpha = 2 \cdot 10^{-4}$ ),  $L$  – линейный размер тела (в нашем случае – длина трубы),  $\Delta T$  – изменение температуры. Десятиметровый отрезок полиэтиленовой трубы при повышении температуры на  $20^\circ\text{C}$  удлинится на  $\Delta L = 2 \cdot 0,0001 \cdot 20 \cdot 10000 = 40$  мм.

При изменении температуры на зафиксированные концы трубы действует сила реакции опор  $N$ , которая препятствует ее удлинению. В стенке трубы возникают напряжения сжатия, величина которых определяется уравнением:

$$\sigma = -\alpha \cdot \Delta T \cdot E \quad (2)$$

где  $E$  – модуль упругости материала полиэтиленовой трубы, равный при  $20^\circ\text{C}$   $800 \cdot 10^6$  Н/м<sup>2</sup>.

Для полиэтиленового трубопровода из ПЭ 80 всех диаметров при изменении температуры транспортируемой жидкости на  $20^\circ\text{C}$   $\sigma$  составляет  $3,2 \cdot 10^6$  Н/м<sup>2</sup>.

Усилие, с которым труба действует на опоры, определяется уравнением:

$$N = \alpha \cdot \Delta T \cdot E \cdot F \quad (3)$$

где  $F$  – площадь стенки трубы в ее поперечном сечении. Для трубы ПЭ 80 SDR 17 диаметром 160 мм ( $F=0,00449$  м<sup>2</sup>) величина  $N$  составит  $1,4 \cdot 10^4$  Н,

а напряжение в стенке трубы –  $3,2 \cdot 10^6$  Н/м<sup>2</sup>, что в 6 раз меньше предела текучести полиэтилена (для ПЭ 80  $\sigma_T = 2 \cdot 10^7$  Н/м). Это значит, что даже при более высоких значениях  $\Delta T$  полиэтиленовая труба не разрушится и сохранит свою несущую способность.

Другой особенностью полиэтилена является его склонность к релаксации: при фиксированной деформации внутренние напряжения в течение часа уменьшаются вдвое. Это явление принято называть «самокомпенсацией».

## Особенности поведения полимерных трубопроводов при укладке в грунт

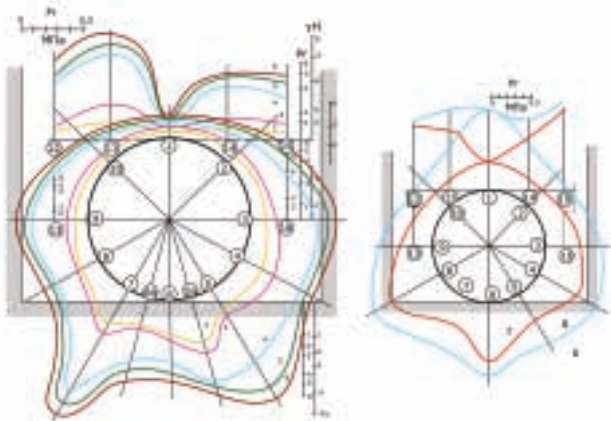
Для предотвращения смещений концов трубы и приема нагрузок в конструкции трубопровода предусматривают неподвижные опоры и компенсаторы, расчет которых часто проводят по уравнению (3).

Однако при подземной прокладке трубопровода его смещению препятствует сила трения между трубой и грунтом. После засыпки трубы продолжают деформации как самой трубы, так и грунта до того момента, пока давления грунта на её оболочку в вертикальном и горизонтальном направлениях практически не уравновесятся.

При правильном выборе материала для засыпки и соблюдении технологии засыпки нужно учитывать влияние грунта при расчетах трубопроводов.

Однако следует учитывать и гранулометрический состав материала, уровень грунтовых вод, условия монтажа для гарантированного постоянства физических характеристик грунта во время эксплуатации трубопровода. Особенно опасно вымывание грунта, что приводит к образованию полостей и снижению фиксирующей способности грунта.

В СП 40-102-2000 п. 6.7.1 даны рекомендации для расчета уменьшения удлинения полимерных труб при тепловом расширении в результате заземления трубопровода грунтом [2]:



**Рис. 1.** Эпюры изменения давления грунта на оболочку труб из ПЭ 80 диаметром 1000 мм неуплотненного (а) и уплотненного (б) песчаного грунта при глубине заложения: 2 – 0,7 м; 3 – 1,2 м; 4 – 2,5 м; 5 – 3,3 м; 6 – 4,5 м; 7 – сразу после засыпки; 8 – через 8000 ч (цифрами в кружках обозначены места измерения давления) [1].

$$\Delta l_{ум} = L^2 \frac{K_y \cdot f_T \cdot \gamma \cdot H}{E_{сж} \cdot s} \quad (4)$$

где  $f_T$  – коэффициент трения материала о грунт, определяемый опытным путем; при отсутствии данных может быть ориентировочно принят равным 0,4;  $\gamma$  – объемный вес грунта, Н/м<sup>3</sup>;  $H$  – глубина заложения трубопровода, м;  $L$  – длина трубопровода, м;  $E_{сж}$  – модуль упругости материала в направлении деформации, Па;  $s$  – толщина стенки трубопровода, м;  $K_y$  – коэффициент уплотнения грунта, принимается равным 1 при степени уплотнения 0,95 по Проктору и 0,5 – при неконтролируемой степени уплотнения при засыпке траншеи.

**Пример расчета усилий на концах трубы ПЭ100 SDR21-1200x57.2 при  $\Delta t = 20^\circ C$**

Для оценки величины влияния грунта на тепловое расширение трубы проведем расчет без учета и с учетом влияния заземления грунтом трубы. Перепад температуры принимаем равным 20°C, что зачастую выше максимального значения перепада для трубопроводов холодного водоснабжения, водоотвода, канализации, дренажа.

Расчет усилий без учета влияния грунта: Воспользуемся формулой (3)

$$N = \alpha \cdot \Delta t \cdot E \cdot F$$

Где  $E$  – модуль упругости полиэтилена,  $\alpha$  – коэффициент температурного расширения полиэтилена,  $\Delta t$  – изменение температуры,  $F$  – площадь сечения трубы.

$$N = 800 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 10^{-4} \cdot 20 \cdot 0.2 = 640\,000\, H$$

Расчет усилий с учетом влияния грунта:  
 $L_k - L_H = \alpha \cdot \Delta t \cdot L_H$  – закон линейного теплового расширения, который с учетом (4) можно записать в следующем виде:

$$L_k - L_H = \alpha \cdot \Delta t \cdot L_H - \Delta l_{ум} \Rightarrow \frac{L_k - L_H}{L_H} = \alpha \cdot \Delta t - \frac{\Delta l_{ум}}{L_H} \quad (6)$$

Тогда, используя (3), можно рассчитать усилия на концах трубы:

$$N = F \cdot E_{сж} \cdot \frac{L_k - L_H}{L_H} = F \cdot E_{сж} \cdot \left( \alpha \cdot \Delta t - \frac{\Delta l_{ум}}{L_H} \right) = F \cdot E_{сж} \cdot \alpha \cdot \Delta t - \left[ L_H \cdot \frac{K_y \cdot f_T \cdot \gamma \cdot H \cdot F}{s} \right] \quad (7)$$

При:  
 $f_T = 0,4$ ;  
 $\gamma = 18000\, H/m^3$ ;  
 $H = 1\, м$ ;  
 $L = 10\, м$ ;  
 $E_{сж} = 800\, МПа$ ;  
 $s = 0,057\, м$ ;  
 $K_y = 1$

$$N = 0.2 \cdot 800 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 10^{-4} \cdot 20 - \frac{0.2 \cdot 10 \cdot 1 \cdot 0.4 \cdot 18 \cdot 10^3 \cdot 1}{0.057} = 640\,000\, H - 252\,631\, H = 387\,369\, H$$

Таким образом, при выбранных равных начальных условиях грунт препятствует расширению трубы и почти в два раза снижает нагрузки на концах по сравнению с поведением ненагруженной трубы.

Из (7) видно, что влияние грунта тем сильнее, чем больше коэффициент трения «ПЭ-грунт», удельный вес грунта, глубина заложения, длина отрезка трубы и коэффициент уплотнения пазух при засыпке.

**Анализ усилий на концах плетей труб ПЭ 100 SDR 21 для всех значений диаметров при различных глубинах заложения и различных длинах закладываемых плетей при нормативном уплотнении.**

Расчет производился по формуле (7). Отрицательные значения усилий показывают, насколько силы заземления грунтом превосходят растягивающие силы теплового расширения. В этих случаях наблю-

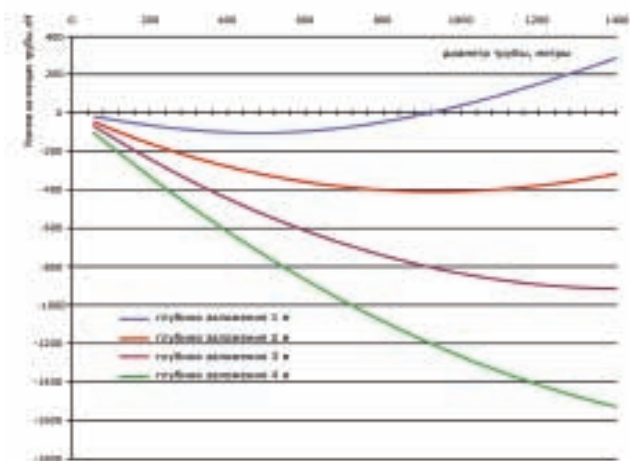


Рис. 2. Усилия на концах плети трубопровода длиной 20 м

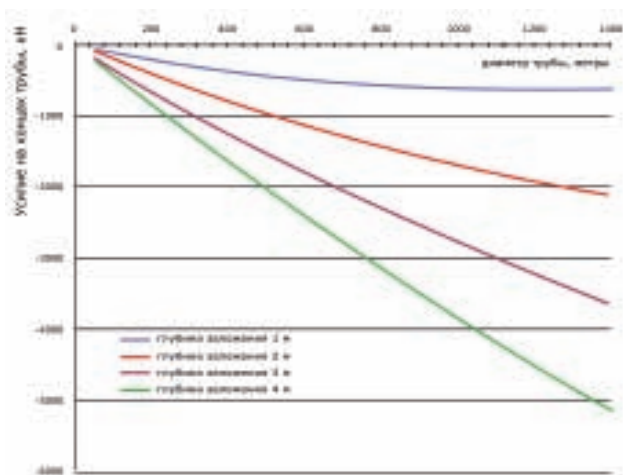


Рис. 3. Усилия на концах плети трубопровода длиной 50 м

дается появление зон неподвижности участков трубопроводов, т.е. линейного расширения не происходит, а возникающие напряжения, как было показано выше, релаксируют, при этом значения внутренних напряжений ниже предела текучести.

Из рис. 2 и 3 видно, что для предотвращения продольных температурных расширений при проектировании целесообразно (при прочих равных условиях) закладывать длинные плети трубопроводов – обычно это позволяет отказаться от применения неподвижных опор, в частности, плеть трубопровода длиной 50 м не требует опор для всех глубин заложения и диаметров труб (рис. 3). Окончательное решение о целесообразности установки опор следует принимать по результатам расчетов.

**Анализ усилий на концах плети трубы ПЭ 100 SDR 21 для всех значений диаметров при засыпке без уплотнения и с нормативным уплотнением грунта (глубина заложения 2 м, длина плети 20 м)**

Правильное уплотнение грунта (рис. 4) влияет на поведение трубы при тепловом расширении, а также на прочностные характеристики трубопровода.

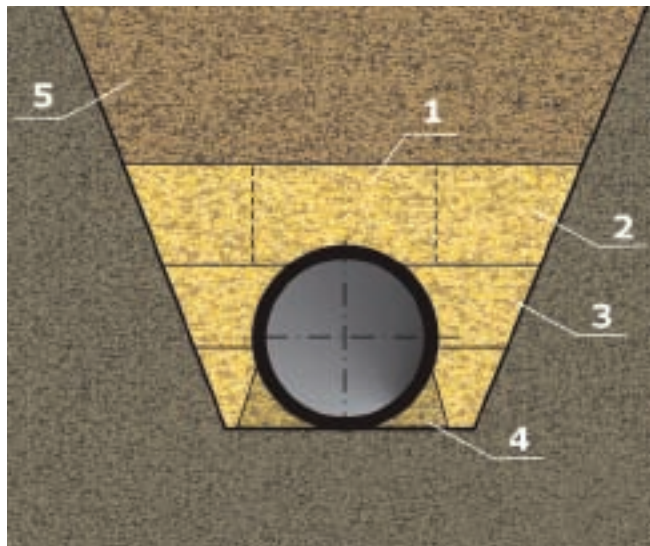


Рис. 4. Схема уплотнения грунта при засыпке траншеи [3]:

- 1 – зона над трубопроводом, где уплотнение грунта запрещается;
- 2, 3 – толщина слоя грунта, уплотненного ручными механизмами;
- 4 – слой грунта, уплотненного ручным немеханизированным инструментом;
- 5 – слои грунта, уплотненные механическими трамбовками

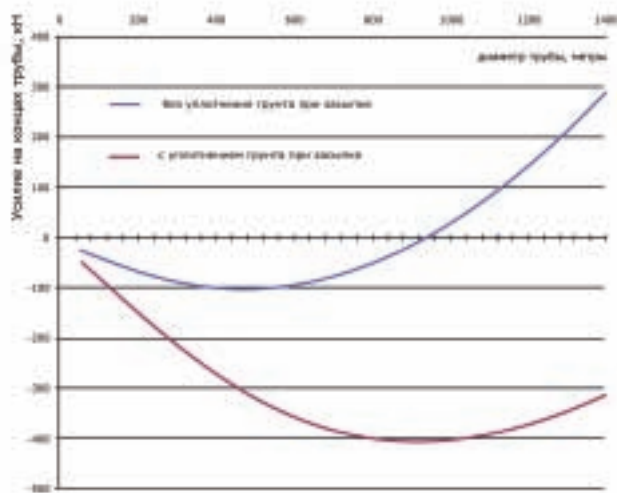


Рис. 5. Зависимость усилий на концах плети трубопровода длиной 50 м от уплотнения грунта при засыпке

Из рис. 5 видно, что правильное уплотнение грунта при засыпке позволяет значительно снизить усилия теплового линейного расширения, увеличив в 2 раза (при прочих равных условиях) номенклатуру диаметров труб, которые за счет заземления попадут в зону неподвижности. Уплотнение грунта (в том числе пазух трубы) также необходимо для правильного равномерного нагружения трубы внешними нагрузками, что гарантирует долговечность и надежность трубопровода.

### Поведение трубопроводов из профилированных полиэтиленовых труб

Данные о поведении труб при расширении получены для ПЭ труб с гладкой стенкой. При использовании профилированных труб (например, КОРСИС, ПЕРФОКОР) труба при расширении преодолевает не только силу трения, но и сопротивление грунта в пазухах профиля (грунт работает на смятие и на срез). Поэтому профилированные трубопроводы в меньшей степени, чем гладкие, испытывают напряжения на концах отрезков при линейном тепловом расширении и после расчетов по методу (7) обычно не требуют специальных мероприятий для борьбы с расширением, в т.ч. не требуют условия подвижности конца трубы при вводе в колодец.

#### Выводы

- Грунт, уплотненный согласно требованиям нормативных документов, надежно препятствует тепловому расширению трубы, что в большинстве случаев позволяет отказаться от применения неподвижных опор.
- Возникающие в стенках полиэтиленовых трубопроводов напряжения малы по сравнению с преде-

лом текучести и компенсируются за счет процессов релаксации полиэтилена на молекулярном уровне.

– Приведенными расчетами, в соответствии с СП 40-102-2000 п. 6.7.1, нужно пользоваться при проектировании упоров, что упростит их конструкцию и, как следствие, уменьшит себестоимость строительства трубопроводов.

– Профилированные трубы, в том числе КОРСИС, КОРСИС ПЛЮС, КОРСИС ПРО, ПЕРФОКОР, ЭЛЕКТРОКОР, не требуют специальных мероприятий для компенсации линейного теплового расширения.

#### Литература

1. Отставнов А.А., Устюгов В.А., Хренов К.Е., Примин О.Г., Орлов В.А., Харькин В.А., Конструктивные и деформативные особенности систем «грунт – полимерная труба». – Сантехника №2/2007.
2. СП 40-102-2000 «Проектирование и монтаж трубопроводов систем водоснабжения и канализации из полимерных материалов. Общие требования».
3. ТР 73-98 «Технические рекомендации по технологии уплотнения грунта при обратной засыпке котлованов, траншей, пазух».



 **ЗАО «Экологика»**

**Очистные сооружения ливневых и талых вод – от разработки и согласования проекта до сдачи объекта под «ключ»**

- гарантированные условия эксплуатации;
- уникальные предложения по обслуживанию;
- экологический контроль и оказание помощи в работе с природоохранными организациями.

**115409, г. Москва, ул. Каширское шоссе, 33**  
**Тел: (495) 324 8533, 324 8515, 324 8614**  
**Факс: (495) 727 0844**  
**E-mail: info@ecologyka.ru**  
**www.ecologyka.ru**