



Измерение температурного удлинения полипропиленовых труб и анализ полученных результатов

О. В. Козлов, заместитель председателя научно-технического совета «НИИсантехники»

С. В. Веред, генеральный директор «НИИсантехники»

А. Б. Дьячков, инженер-испытатель ИЦ «Сантехоборудование» «НИИсантехники»

Пластиковые трубы получили большое распространение в России в системах отопления и водоснабжения. При открытой разводке применяются полипропиленовые трубы (PPRC), поставляемые линейными отрезками по 4 м (штангами). Преимущества этих труб очевидны: низкая стоимость, легкость монтажа и сварки, малый вес, химическая стойкость, эстетичный внешний вид. К недостаткам можно отнести: большое температурное расширение, кислородопроницаемость, относительно низкую температуру эксплуатации по отношению к стали.

В технической документации по PPRC-трубам приведены данные по их температурному линейному удлинению, однако получить российскую или европейскую методику измерения температурного линейного удлинения нам не удалось. В связи с этим «НИИсантехники» провел испытания PPRC-труб на температурное расширение и проанализировал температурные расширения однослойных и многослойных труб.

Для измерения величины коэффициента температурного расширения использовалась труба PPRC с Dn 25 SDR 6¹, соответствующая ГОСТ 32415-2013 [1]. Для крепления трубы и замера использовалась оснастка, применявшаяся ранее в исследованиях Ассоциации производителей трубопроводных систем (АПТС) для измерения температурного удлинения труб, армированных стекловолокном (PPRC/GF/ PPRC), соответствующая ГОСТ Р 53630-2015 [2]. Конструкция оснастки схематически представлена на рис. 1.

Длина отрезка трубы – около 50 см. Замер значения изменения длины образца трубы производился индикаторным нутромером ИЦ 0-25 0.001

(шаг измерения – 0,001 мм). Замер температуры поверхности трубы производился цифровым термометром Testo 608-N1, шаг измерения 0,1 °С. Для замера длины отрезка трубы использовался штангенциркуль ШЦ-2-1000 0,05.

Точность расчета коэффициента температурного удлинения составляет ±3 %, что вполне удовлетворяет поставленной нами задаче.

Коэффициент линейного удлинения (α) рассчитывают по формуле (1):

$$\alpha = dL / (L_0 \times dT) \quad (1)$$

где dL – изменение длины образца трубы, мм;

L_0 – начальная длина образца трубы, м;

dT – изменение температуры образца, °С

Условия экспериментов:

(А) – с прокачкой теплоносителя с температурой 90 °С через трубу, температура окружающей среды 20±2 °С. Измеряется начальная длина фиксированного отрезка при комнатной температуре и конечная длина этого отрезка при стабилизации температуры на выходе из трубы;

¹ SDR – это отношение внешнего диаметра к толщине стенки трубы.

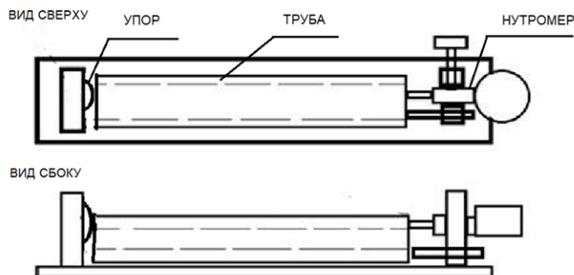


Рис. 1. Схема оснастки для измерения температурного удлинения труб

(В) – с прокачкой теплоносителя с температурой 90 °С через трубу с утеплителем «энергофлекс» толщиной 5 мм. Измерения аналогичны (А);

(С) – разогрев трубы в термостатической камере до 90 °С. Труба нагревается в камере, вручную переносится на оснастку, на торце трубы устанавливается нутромер, труба естественным путем охлаждается до температуры помещения, по нутромеру фиксируется величина изменения длины. Замечание: погрешности в измерении связаны в основном с охлаждением трубы при переносе из камеры на оснастку, поэтому при необходимости труба в камере разогревается в утеплителе, что увеличивает время эксперимента, но увеличивает точность измерения. Также для точного измерения начальной длины в месте упора трубы в оснастке торец трубы шлифуется.

Согласно табл. 1, эксперименты показали, что труба с теплоотдачей в окружающий воздух по варианту измерений (А) и труба по варианту измерений (С) по коэффициенту температурного удлинения (α) отличаются на 11 %. Труба в утеплителе (В) имеет значение α , близкое к варианту (С). Таким образом, очевидна зависимость α от теплоотдачи трубы и, соответственно, температуры внешней стенки трубы. Температура внешней стенки трубы для разных диаметров и толщины стенки будет различной, и, соответственно, будет различным α . В то же время значения α для образцов труб по варианту измерения (С) для всех диаметров и толщин стенок будут иметь одинаковые значения, соответствующие температурному удлинению материала трубы, т. е. PPRC.

Из формулы Фурье для теплопроводности теплоотдача цилиндрической поверхности:

$$Q = \frac{2\pi\lambda l(t_1 - t_2)}{\ln \frac{d_2}{d_1}}, \quad (2)$$

где t_1 – температура внутренней стенки;

Таблица 1

Условия эксперимента	α , мм/(м×°С)	Температура на поверхности трубы, °С
(А)	0,133	66
(В)	0,146	–
(С)	0,148	90

t_2 – температура внешней стенки;

Q – теплоотдача трубы;

l – длина трубы;

d_2 – внешний диаметр;

d_1 – внутренний диаметр;

λ – теплопроводность PPRC (принимается равным 0,2 Вт/м).

Для наглядности упростим уравнение (2):

$$\Delta T = \frac{Q \cdot \ln \left(\frac{d_2}{d_1} \right)}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,2} = \ln \left(\frac{d_2}{d_1} \right) \cdot 0,8 \cdot Q.$$

Используя ранее полученные данные о теплоотдаче погонного метра пластиковой трубы PPRC 90×15, расположенной вертикально, а именно значение $Q = 140$ Вт/м, полученное при условиях испытаний (А), найдем коэффициент температурного расширения для этой трубы.

Из вышеприведенной формулы и распределения температуры в стенке трубы получим значение температуры на поверхности стенки, равное 54 °С, и среднюю по площади сечения температуру, равную 67 °С (рис. 2).

Средняя по площади температура стенки трубы соответствует $T = 67$ °С, при начальной температуре 20 °С получим прогрев стенки трубы $\Delta T = 47$ °С.

Соответственно, коэффициент температурного удлинения (α) будет:

$$\alpha = 0,1 \text{ (мм/(м} \times \text{°С))}.$$

В то же время для трубы PPRC 25×4,2 это значение $\alpha = 0,133$ (мм/(м × °С)) (см. табл. 1).

То есть значения коэффициента температурного линейного удлинения однослойных труб PPRC будут различны для различных диаметров и SDR труб при использовании условий испытания (А).

При этом значения SDR, согласно [1], могут быть 11, 9, 7,4, 6, а диаметры D_n – от 20 до 630 мм.

Считаем, что для определения, при необходимости, коэффициента температурного линейного удлинения при типовых или сертификационных испытаниях для всего ряда размеров (D_n и SDR) труб

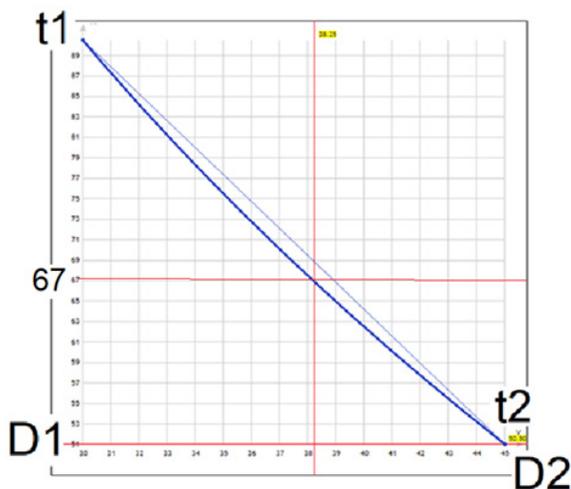


Рис. 2. Распределение температур в стенке трубы PPRC 90×15

PPRC целесообразно применение только метода согласно условиям (С). При необходимости получить значение α при условиях (А) для трубы с определенными значениями Dn и SDR и определенных условиях эксплуатации на базе ранее полученного значения α по условиям (С) возможен расчет, аналогичный приведенному выше.

Для уменьшения значения температурного удлинения PPRC-труб используется армирование стекловолокном (далее трубы PPRC/GF). Теория линейного расширения труб со стекловолокном рассматривалась, например, в статье [3], основной вывод из которой можно сформулировать следующим образом: тепловое линейное удлинение трубы, армированной стекловолокном или базальтовым волокном надлежащего качества зависит от массового содержания в среднем слое волокна и толщины среднего слоя по отношению к сумме толщин неармированных внешнего и внутреннего слоев трубы. АПТС при поддержке компаний «Полипластик» и «Сибур» провела замер линейного удлинения пластиковых труб PPRC/GF некоторых отечественных и зарубежных производителей по условиям испытаний (С). Полученный результат значительно отличается от паспортных данных этих труб, а именно – коэффициент температурного линейного удлинения фактически составляет 0,065–0,085 мм/(м×°С) при декларированном в технической документации производителей значения $\alpha = 0,05$ мм/(м × °С). Производители этих труб объясняют разницу в значениях α в методике испытаний. Результаты, приведенные выше, показали, что это не соответствует действительности. Производители в любом случае значительно занижают

коэффициент температурного удлинения. В АПТС испытывалась труба SDR 6 Dn 25 при условии испытаний (С). Отметим, что зависимость теплоотдачи труб из PPRC/GF согласно условиям испытаний (А) для различных диаметров аналогична зависимости теплоотдачи однослойной трубы из PPRC, поэтому и отклонения α для PPRC/GF в зависимости от Dn и SDR также значительны.

Определение коэффициента температурного линейного удлинения для всего ряда размеров (Dn и SDR) труб, армированных стекловолокном или базальтовым волокном, целесообразно при применении только метода согласно условиям (С).

Хотелось бы обратить внимание на то, что трубы PPRC/GF имеют только одно преимущество перед однослойной трубой PPRC – меньшее значение коэффициента линейного расширения. При этом данный параметр нормативной документацией не ограничен, а реально применяемые в РФ трубы имеют расхождение с паспортом более чем в 1,5 раза. Подбор компенсаторов для таких труб крайне затруднен неопределенностью реального значения коэффициента температурного линейного удлинения.

Трубы, армированные алюминием [2]. Для снижения температурного линейного удлинения и защиты системы от кислорода производители армируют трубы PPRC алюминиевой фольгой по внешней поверхности трубы («Штаби») или посередине слоя полипропилена (центральная армировка). Для армировки на данный момент используется фольга с толщиной 0,1 мм для труб до Dn 32 и 0,12 мм для труб диаметром более 32 мм.

Физическая модель для труб, армированных алюминиевой фольгой: в монолитной конструкции трубы расширение PPRC-слоя и расширение алюминиевого слоя в трубе равны.

Применим закон Гука:

$$\sigma = E \times \epsilon, \quad (3)$$

где σ – напряжение в стенке;

E – модуль упругости;

ϵ – относительное удлинение.

$$F = \sigma \cdot S,$$

где S – площадь сечения рассматриваемого материала (алюминия или PPRC);

F – сила упругости.

Справочные данные:

- PPRC имеет значение коэффициента температурного расширения $\alpha = 0,15$ мм/(м × °С);
- для алюминия $\alpha = 0,00002$ мм / (м × °С).

E_a алюминия – 71000×10^6 Па

E_n PPRC – 900×10^6 Па.

Сила растяжения, с которой PPRC-слой трубы длиной 1 м действует на алюминиевый слой равна силе сжатия от алюминия к PPRC:

$$F = E \times dL/L \times S.$$

Удлинение погонного метра трубы для варианта (С), где температура PPRC и алюминия равны, составит: $\alpha = 0,15 \times E_n \times S_n / (E_n \times S_n + E_a \times S_a)$ (температурным удлинением алюминия пренебрегли, в связи с относительно малым значением, не влияющим на общие выводы).

Для трубы Dn 25 SDR 6 с внешней армировкой и толщиной алюминиевого слоя 0,1 мм по условиям испытаний (С) значение $\alpha = 0,046$ мм/(м×°С). При этом в паспортах на армированные алюминием трубы дано одно для всех диаметров температурное удлинение $\alpha = 0,035$ мм/(м×°С).

Для труб разного диаметра с одним и тем же SDR и труб одного диаметра с разным SDR и с той же толщиной алюминиевой фольги коэффициент α будет разным и значения будут существенно отличаться.

Для трубы с армировкой алюминием посередине для Dn 25 SDR 6 $\alpha = 0,054$ мм/(м×°С), что на 17 % больше, чем для трубы с внешней армировкой. Это связано с уменьшением площади алюминия в поперечном сечении трубы.

Очевидно, что удлинение труб, армированных алюминием, принципиально зависит от площади полипропилена и алюминия в стенке трубы и при значительном изменении одной площади и сохранении другой получить постоянное значение температурного удлинения невозможно. Отметим, что это справедливо при любых условиях испытания – как (А), так и (С). При условии эксперимента (А) значения коэффициента температурного удлинения для труб, армированных алюминием, разного диаметра и типа армировки будут отличаться еще более значительно, чем по варианту (С), по причинам, описанным в статье для однослойных труб.

Для измерения коэффициента температурного удлинения, единого для всего ряда размеров (Dn и SDR) труб, армированных алюминием, на сегодняшний день затруднительно предложить соответствующие условия испытаний. Прежде всего это связано с ограниченными возможностями производителей использовать алюминиевую фольгу в широком диапазоне толщин, а также с наличием внутренней и внешней армировки этих труб.

Выводы

Метод определения температурного удлинения труб, армированных и не армированных по варианту (С), прост в применении. Метод позволяет применить его для типовых и сертификационных испытаний для труб различного диаметра и SDR при измерении α одного отобранного образца из труб однослойных и труб, армированных стекловолокном. Метод (А) сложен и имеет большие погрешности замера удлинения образца. Значения α , полученные по методу (А), для труб разного диаметра и SDR различны, и применение этого метода для типовых и сертификационных испытаний затруднительно.

Указанное в технической документации производителей температурное удлинение однослойных PPRC-труб соответствует результату, полученному при условиях, соответствующих методу (С).

Указанные в паспортах значения температурного удлинения для труб, армированных алюминием, зависят от толщины алюминиевой фольги. Указанное в технической документации производителей температурное удлинение армированных алюминием PPRC-труб не соответствует значениям, полученным по методам (С) и (А).

Значения α по методу (С) труб, армированных алюминием, для труб с разными Dn и SDR, в т. ч. армированных по центру или армированных сверху («Штаби»), в существующих условиях применения производителями для армировки труб только фольги толщиной 0,1 и 0,12 мм значительно различаются. Применение одного значения α для всего ряда размеров этих труб невозможно.

Трубы однослойные и многослойные с утеплителем (В) имеют коэффициент температурного удлинения, близкий к значению, полученному в условиях испытаний (С), и значительно отличающийся от значений, полученных при условиях (А).

Литература

1. ГОСТ 32415-2013 «Трубы напорные из термопластов и соединительные детали к ним для систем водоснабжения и отопления. Общие технические условия».
2. ГОСТ Р 53630-2015 «Трубы напорные многослойные для систем водоснабжения и отопления. Общие технические условия».
3. Особенности конструкции полипропиленовых труб, армированных стекловолокном, для систем водоснабжения и отопления // Сантехника. – 2010. – № 5.