

Особенности полимерных напорных труб в системах отопления

О. В. Козлов, заместитель Генерального директора АПТС (Ассоциация производителей трубопроводных систем)

Полимерные трубы, используемые для систем отопления, изготавливаются из PP-H, PP-B, PP-R, PP-RCT, PE-X, PB, PVC-C тип II, PE-RT тип I, PE-RT тип II (п. 4.3.1 ГОСТ 32415-2013, по 4 и 5 классу эксплуатации). Особенности использования этих труб в системах отопления определяются, прежде всего, двумя свойствами полимерных труб:

1. Коэффициент линейного температурного расширения полимерных труб значительно больше, чем у металлических.

2. Полимеры обладают свойством диффузии, т.е. пропускают газы, в том числе кислород, в теплоноситель (воду) и воду (в виде пара) из трубы в окружающую среду.

В данной статье рассмотрим проблемы, связанные с диффузией в полимерных трубах, нормативные ограничения по содержанию кислорода в теплоносителе, а также поговорим о трубах с защищенным от проникновения кислорода слоем.

Проблема наличия кислорода в теплоносителе известна. Коррозия на стальных поверхностях в присутствии растворенного кислорода описана неоднократно многими авторами. Конечно, процесс это сложный, и на скорость коррозии влияют многие факторы: неоднородность металла (включения в металл, создающие катодно-анодную пару с основным металлом, результатом чего является электрохимическая коррозия), кислотность теплоносителя (pH), наличие угольной кислоты (CO₂), температура теплоносителя и другие.

Однако можно сказать, что коррозия стали в условиях теплосети при наличии растворенного кислорода протекает с «кислородной деполяризацией» (катодной реакцией восстановления (ионизации) кислорода; общая формула $O_2 + 4e + 2H_2O \rightarrow 4OH^-$), поэтому роль кислорода в коррозии трубопроводов и арматуры теплосети, котельного оборудования, стальных радиаторов значительна.

Бытует популярное мнение, что кислород в трубу с теплоносителем под давлением не пройдет. Это заблуждение и нарушение физических законов, т.к. диффузия газов всегда будет идти из области с высоким парциальным давлением в область с более низким парциальным давлением, и чем больше разница этих давлений, тем интенсивнее будет поток. Также есть мнение, что диффузия кислорода в полимерных трубах незначительна и ни на что не влияет. Действительно, коэффициент диффузии кислорода в полимерных трубах невелик ($D = k \cdot 10^{-11} \text{ м}^2/\text{с}$), однако время этого процесса может исчисляться годами, а площадь поверхности труб в системе отопления может составлять сотни квадратных метров. Поэтому для сохранения работоспособности теплосетей и оборудования, а также индивидуальных систем отопления со стальными котлами и радиаторами или



Фото 1. Монтаж полипропиленовых труб

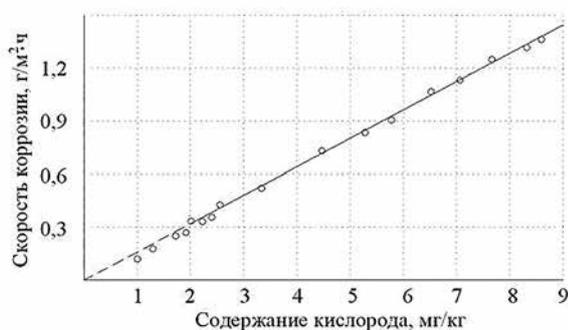
конвекторами, необходимо учитывать диффузию кислорода через полимерные трубы.

Пренебрежение этим свойством полимерных труб заканчивается авариями и потерей имущества граждан и предприятий.

Кроме того, даже кратковременное значительное повышение содержания кислорода в теплоносителе, например, летом, в неотапливаемый сезон, приводит к появлению питтингов на поверхности металла – внутри панельных радиаторов, теплообменников и т.д., а затем, уже в отопительный сезон, в деаэрированной (подготовленной) воде в этих местах развиваются язвы и свищи, резко увеличивая повреждаемость трубопроводов и оборудования от внутренней коррозии.

Зависимость скорости коррозии стали от содержания кислорода фактически линейна (рис. 1). При температуре 20°C и кислородопроницаемости 0,1 г/м³·сут коррозия составит около 22 г/год.

Рис. 1. Зависимость скорости коррозии стали от содержания кислорода



Если учесть, что при повышении температуры на каждые 30°C скорость коррозии удваивается, то при температуре 80°C коррозия составит 88 г стали на квадратный метр стальной поверхности в год – значение уже немаленькое, т.к. мы рассчитываем эксплуатировать наши трубы, радиаторы и котлы не менее 25 лет, а толщина, например, панельного радиатора в некоторых местах менее 1 мм. И это все – при нормативном содержании кислорода, правильной кислотности и т.д.

Еще хуже обстоят дела в реальности: содержание кислорода в сетевом теплоносителе почти у всех котельных, как минимум, в 2,5 раза больше (50 мг/дм³ принимается необоснованно по подпиточной воде), часто содержание кислорода превышает норму в 10 раз, встречаются случаи превышения более чем в 30 раз (данные подтверждаются имеющимися актами замеров по конкретным адресам в РФ от компании АО «РИФАР»). В последнем случае срок эксплуатации даже для радиаторов с толщиной стенки до 4 мм составляет не более 10 лет, далее – авария и залив квартиры.



Фото 2.

Почему мы говорим о радиаторах и котлах? Во-первых, потому, что, как правило, толщина стенок этих приборов меньше толщины стенки стальных ВГП труб. Во-вторых, растворимость кислорода при нагревании и при снижении давления (резкое расширение потока) падает, т.е. в этом оборудовании возможно выделение газообразного кислорода, и коррозия в местах его контакта со сталью значительно увеличит скорость. В масштабах поселковых котельных на ДКВР или аналогичных стальных котлах, при отсутствии деаэрации, это может стать катастрофой.

Диффузию через стенки полимерных труб необходимо учитывать и по другой причине: они проницаемы для водяного пара. Ранее, в 10-х годах этого столетия, внутри стенок труб PP-R или PE-X, армированных алюминием, часто встречались пузыри воды. Металлическая фольга имеет нулевую диффузию и не пропускает газ или воду, поэтому при отсутствии клея, прикрепляющего алюминиевую фольгу к внутреннему слою полимерной трубы, или плохом качестве этого клея вода, пропускаемая пластиком, скапливалась под фольгой. Такой пузырь образовывался в течение года и мог расти в течение нескольких лет. Процесс диффузии воды через стенку полимерной трубы в окружающую среду естественный, в реальной жизни мы его не замечаем, поскольку количество воды, проходящее через стенку трубы, слишком мало.

Фото 3. Пластиковая труба с алюминиевым слоем



Что говорят нормативные документы о нормах содержания кислорода в теплоносители показателях диффузии кислорода для полимерных труб:

1. СО 153-34.20.501-2003 «Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации», п. 4.8.40. Качество сетевой воды должно удовлетворять следующим нормам: Содержание растворенного кислорода, мг/дм³, не более 20 мг/м³.

2. СП 60.13330.2016 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003», п. 6.3.1. Полимерные трубы, применяемые в системах отопления совместно с металлическими трубами или с приборами и оборудованием, имеющими ограничения по содержанию растворенного кислорода в теплоносителе, должны иметь кислородопроницаемость не более 0,1 г/(м³·сут). Метод определения: ГОСТ Р 55911-2013 (ISO 17455:2005) «Трубопроводы из пластмасс – Многослойные трубы – Определение кислородопроницаемости трубы с барьерным слоем».

3. ГОСТ Р 53630-2015, п.5.1.9. Для многослойных труб, которые заявлены как трубы с кислородным барьером, кислородопроницаемость при температуре 40°C должна быть не более 0,32 мг/(м²·сут), а при температуре 80°C – не более 3,6 мг/(м²·сут).

В ГОСТ Р 53630 присутствует явная опечатка. Коэффициент диффузии (далее КД) почти пропорционален абсолютной температуре (Т), поэтому значение 3,6 мг/(м²·сут) надо читать как 0,36 мг/(м²·сут) так как при изменении абсолютной температуры на 13% коэффициент диффузии не может измениться на порядок. (Обоснование цифры 0,36 вместо 3,6: отношение температур Т1/Т2=353К/313К=1,127, как мы видим значения отношений очень близки).

Рассматриваются две величины – кислородопроницаемость (увеличение концентрации кислорода в м³ за сутки «КД») не более 0,1 г/(м³·сут) и кислородопроницаемость (диффузия через стенку «Д») не более 0,36 мг/(м²·сут). Сравним эти показатели для труб разного диаметра:

$$KД(80^{\circ}C) = D \cdot S / V = D \times 2 \times 3,14 \times r / (3,14 \times r \times r) = D \times 2 / r = 0,36 \times 2 / r = 0,72 / r$$

(r – внутренний радиус трубы, S площадь поверхности трубы длиной 1м, V объем воды в трубе длиной 1м, Д= 0,36 мг/(м²·сут) по ГОСТ Р 53630.)

Найдем, при каком радиусе трубы при КД=0,1 г/(м³·сут), кислородопроницаемость будет:

$$r(80^{\circ}C) = 0,72 / KД = 7,2 / 0,1 = 7,2 \text{ мм.}$$

Т.е. при внутреннем диаметре трубы менее 14,4 мм кислородопроницаемость в теплоносителе (воде) будет больше, чем указано в СО 60.13330.2016 (0,1г/(м³·сут)). Например, для 80°C при 0,36 мг/(м²·сут) для трубы 20х3,4мм К= 0,11 г/(м³·сут), что на 10% больше нормы по СП 60.13330.2016.

Для той же трубы и температуры 40°C при Д=0,32 мг/(м²·сут) получим К=0,1 г/(м³·сут), что соответствует требованию по СП 60.13330.2016.

Нормативный документ СО 153-34.20.501-2003 дает значение по содержанию кислорода в сетевой воде 20 мг/м³ без указания, в течение какого времени происходило насыщение теплоносителя кислородом. Максимально возможные значения содержания кислорода в воде соответствуют его растворимости. Согласно ГОСТ Р 55911-2013 (ISO 17455:2005) растворимость кислорода при нормальном давлении и при парциальном давлении 0,18 бар, составляет:

- при 20°C – 8 г/м³;
- при 40°C – 5,5 г/м³;
- при 80°C – 2,5 г/м³.

Поскольку растворимость кислорода (8–2,5 г/м³) и значения содержания кислорода в теплоносителе по нормативам (20 мг/м³) отличаются на порядки, то скорость диффузии в диапазоне до 20 мг/м³ можно считать постоянной. Тогда время, за которое та же труба с кислородопроницаемостью 0,1г/(м³·сут) наберет предельные 20 мг/м³, составит около 5 часов, что намного короче периода летнего отключения отопления.

Реальные трубы и кислородопроницаемость

В трубах с кислородным барьером используют алюминиевую фольгу толщиной от 0,1 мм и этиленвиниловый спирт (EVOH). Кислородопроницаемость фольги равна нулю.

Кислородопроницаемость трубы с EVOH (типа PERT–EVOH–PERT) менее 0,01 г/(м³·сут) (рис.2) для трубы 16х2мм, т.е. трубы со слоем EVOH соответствуют нормативным требованиям ГОСТ 53630-2015.

Трубы из PP-R и PP-RCT, неармированные и армированные волокном, имеют кислородопроницаемость одинаковую по значению при температуре 20°C. При росте температуры есть различие в кислородопроницаемости труб из PP-R и PP-RCT, армированных волокном и неармированных. Армированные и неармированные волокном трубы при любых температурах не удовлетворяют никаким вышеприведенным требованиям по кислородопроницаемости.

Диффузия через стенку трубы при условии, что временной отрезок мал, длина трубы достаточно мала, разность концентраций кислорода в воде и воздухе велика:

$$KД = 4D \Delta c / DN^2 \ln(SDR / (SDR - 2)) / (1 - 2 / SDR)^2,$$

(г/сутки·м³)

где D – кислородопроницаемость,
SDR – отношение DN к толщине стенки,
DN – наружный диаметр

Δс – величина разности концентрации кислорода в воде и воздухе,

K – коэффициент пропорциональности.

Для постоянного SDR:

$$KД = K \cdot D \cdot \Delta c / DN^2, \text{ при } SDR=6 \text{ } KД=3,6 DN^2$$

Используя приведенные формулы можно пересчитать диаметр трубы при котором кислородопроницаемость будет равна 0,1г/(м³·сут). Например, для трубы из PP-RSDR 6 (при D = 2 · 10–11 м²/с, Δс=270г/м³) этот диаметр составит DN=83 мм. Т.е. трубы из PP-R и SDR 6 диаметром более 90 мм автоматически выполняют требование всех вышеописанных нормативов по кислородопроницаемости.

При этом необходимо отметить, что кислородопроницаемость через сварное соединение муфтовой фитинг-трубы PP-R менее 0,1 г/(м³·сут), за счет наличия толщины стенки трубы и стенки фитинга (ориентировочно SDR=4).

Исходя из расчетов для трубы PP-R DN20 SDR6 и трубы PE-X 16х2,2 мм (ориентировочно D = 1,4 · 10–11 м²/с), армированных перфорированной алюминиевой фольгой, для соответствия нормативу 0,1г/(м³·сут), должны иметь площадь перфорации ориентировочно менее 4%.

Краткие выводы:

Наиболее применимое для пластиковых труб значение кислородопроницаемости, по моему мнению инженера, не связанное формально с диаметром трубы, это 0,1 г/(м³·сут) (СП 60.13330.2016). Величина 20 мг/м³ полезна для котельных, водоподготовки и т. д. Величины кислородопроницаемости (по ГОСТ Р 53630-2015) 0,32 мг/(м²·сут) и 0,36 мг/(м²·сут) связаны с диаметром трубы и SDR.

Трубы с перфорацией площадью менее 4% от площади поверхности трубы удовлетворяют требованиям по кислородопроницаемости.

Толстостенные трубы с большими диаметрами и малыми SDR могут, согласно приведенным расчетам, удовлетворять требованиям по кислородопроницаемости без применения в конструкции трубы кислородного барьера. ■