

А. С. Жданов, старший преподаватель НовГУ имени Ярослава Мудрого

## ЕЩЕ РАЗ О СТАЛЬНЫХ И МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ

Ключевые слова: труба стальная, труба металлопластиковая, труба полипропиленовая, удельные потери давления, удельная плотность теплового потока

В настоящее время в системах отопления, холодного и горячего водоснабжения все большее распространение получают трубопроводы из полимерных материалов. Преимущества их очевидны: коррозионная стойкость, малый вес, простота монтажа и т. д. Зачастую реклама делает акцент на малые гидравлические и тепловые потери из-за низких значений коэффициентов эквивалентной шероховатости и теплопроводности полимеров. При этом даются рекомендации по уменьшению диаметров металлополимерных трубопроводов [1], а также по отсутствию необходимости их изоляции по сравнению со стальными. Ошибочность подобных утверждений была показана в статье В.И. Сасина «Применение полимерных труб в системах отопления» [2], в которой приведены результаты тепловых и гидравлических испытаний металлополимерных труб. Однако информация о низких гидравлических сопротивлениях и тепловых потерях пластиковых труб в осторожных формулировках периодически появляется в технических статьях, например в [3, 4].

Цель данной статьи – провести сравнительный анализ гидравлических и тепловых характеристик стальных, металлопластиковых и армированных полипропиленовых трубопроводов, используя классические уравнения гидравлики и теплопередачи.

**Гидравлические характеристики трубопроводов**

Определим удельные гидравлические потери различных трубопроводов при условиях, наиболее характерных для внутренних инженерных систем отопления и водоснабжения, используя уравнение Дарси–Вейсбаха:

$$\Delta P = \lambda \frac{1}{d} \frac{V^2}{2} \rho, \quad (1)$$

где  $\Delta P$  – удельные потери давления, Па/м;  
 $\lambda$  – коэффициент гидравлического трения;  
 $V$  – скорость перемещаемой среды, м/с;  
 $d$  – внутренний диаметр трубопровода, м;  
 $\rho$  – плотность перемещаемой среды, кг/м<sup>3</sup>.

Для коэффициента гидравлического трения воспользуемся универсальной формулой Альтшуля:

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{k_s}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \quad (2)$$

где  $k_s$  – эквивалентная шероховатость труб, м;  
 $Re = V \times d / \nu$  – число Рейнольдса,  
 $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости, м<sup>2</sup>/с.

Уравнение (1) с учетом (2) примет вид:

$$\Delta P = 0,11 \left( \frac{k_s}{d} + \frac{68\nu}{Vd} \right)^{0,25} \frac{1}{d} \frac{V^2}{2} \rho. \quad (3)$$

Для определенности примем при расчетах параметры воды при 65 °С: плотность 980 кг/м<sup>3</sup>, коэффициент кинематической вязкости 0,447×10<sup>-6</sup> м<sup>2</sup>/с. Значение эквивалентной шероховатости внутренней поверхности трубопроводов согласно [5] составляет не менее 0,01 мм для труб из полимерных материалов, 0,5 мм для стальных труб при зависимом

присоединении систем внутреннего теплоснабжения к тепловой сети.

На рис. 1 представлены графические зависимости удельных потерь давления от скорости движения теплоносителя для различных диаметров трубопроводов, построенные на основании уравнения (3).

Полученные результаты расчетов, указанные на графиках (рис. 1), хорошо согласуются с данными удельных потерь давления, приведенными на диаграммах различных источников, например: для полипропиленовых [6], для стальных труб [7].

Из графиков видно, что при скоростях движения теплоносителя 0,2÷1 м/с, характерных для отопительных систем [8], удельные потери давления стальных и армированных полипропиленовых труб в рассматриваемом диапазоне диаметров 20÷50 мм **практически совпадают**. Такое незначительное отличие в удельных потерях давления стальных и армированных полипропиленовых трубопроводов, несмотря на огромную разницу (в 50 раз) в значениях коэффициентов эквивалентной шероховатости, объясняется существенным различием в значениях внутренних диаметров труб (табл. 1).

Например, у стальной водогазопроводной трубы 20×2,8 (первая цифра в обозначении определяет диаметр условного прохода) внутренний диаметр составляет 21,2 мм, у армированной полипропиленовой 20×3,4 (первая цифра в обозначении определяет наружный диаметр) – 13,2 мм, т.е. площадь поперечного сечения для прохода теплоносителя у данной полипропиленовой трубы в 2,58 раза меньше, чем у стальной.

Следует отметить, что основная задача системы тепло- или водоснабжения – обеспечение потребителей необходимым количеством теплоносителя. Поэтому более корректно сравнивать гидравлические характеристики

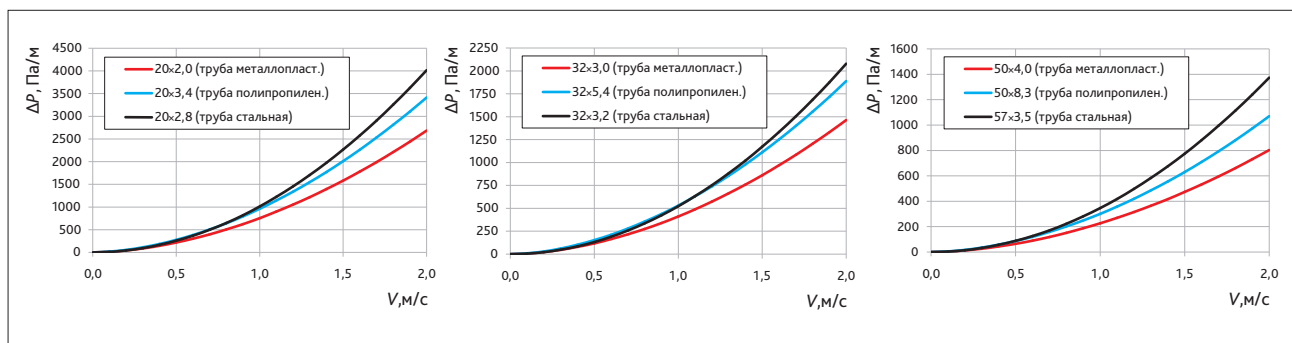


Рис. 1. Графики зависимостей удельных потерь давления от скорости движения теплоносителя для различных диаметров трубопроводов

Таблица 1

Технические размеры различных трубопроводов

Технические размеры	Труба стальная			Труба полипропиленовая армированная			Труба металлопластиковая		
	20x2,8	32x3,2	57x3,5	20x3,4	32x5,4	50x8,3	20x2,0	32x3,0	50x4,0
Типоразмер трубопровода	20x2,8	32x3,2	57x3,5	20x3,4	32x5,4	50x8,3	20x2,0	32x3,0	50x4,0
Наружный диаметр, мм	26,8	42,3	57,0	20,0	32,0	50,0	20,0	32,0	50,0
Толщина стенки, мм	2,8	3,2	3,5	3,4	5,4	8,3	2,0	3,0	4,0
Внутренний диаметр, мм	21,2	35,9	50,0	13,2	21,2	33,4	16,0	26,0	42,0

Примечание. В табл. 1 приведены технические размеры трубопроводов стальных водогазопроводных обыкновенных ГОСТ 3262–75 (диаметр условного прохода 20 и 32 мм), стальных электросварных ГОСТ 10704–91 (наружный диаметр 57 мм), полипропиленовых армированных алюминием PN25, металлопластиковых (наружный диаметр 20 и 32 мм).

различных трубопроводов не при равных скоростях движения воды, а при равных расходах.

Определим скорость движения воды следующим образом:

$$V = \frac{4G}{\pi d^2 \rho}, \quad (4)$$

где  $G$  – массовый расход теплоносителя, кг/с.

Используя формулу (4), выразим удельные потери давления (3) через массовый расход теплоносителя:

$$\Delta P = 0,11 \left( \frac{k_z}{d} + \frac{68\nu\pi d\rho}{4G} \right)^{0,25} \frac{8G^2}{\pi^2 d^5 \rho}. \quad (5)$$

На рис. 2 представлены графические зависимости удельных потерь давления от массового расхода теплоносителя для различных диаметров трубопроводов, построенные на основании уравнения (5).

Из графиков (рис. 2) видно, что при равных расходах теплоносителя из-за меньшего внутреннего диаметра, несмотря на маленькое значение эквивалентной шероховатости внутренней поверхности материала, удельные потери давления пластиковых трубопроводов по сравнению со стальными имеют существенно

большие значения. Из этого следует, что рекомендации по снижению диаметров при замене стальных трубопроводов на металлополимерные являются неправомерными. Более того, при подобной замене, чтобы гидравлические потери не превышали прежнего значения, **диаметр необходимо увеличивать** на один типоразмер для металлопластиковых и на два типоразмера для армированных полипропиленовых трубопроводов (рис. 3).

### Тепловые характеристики трубопроводов

Найдем плотность теплового потока открыто проложенных неизолированных горизонтальных трубопроводов из различных материалов согласно [9]:

$$q_L = \frac{t_B - t_H}{R_{вн}^L + R_{ст}^L + R_H^L}, \quad (6)$$

где  $q_L$  – линейная плотность теплового потока, Вт/м;

$t_B$  – температура среды внутри трубопровода, °С;

$t_H$  – температура окружающей среды, °С;

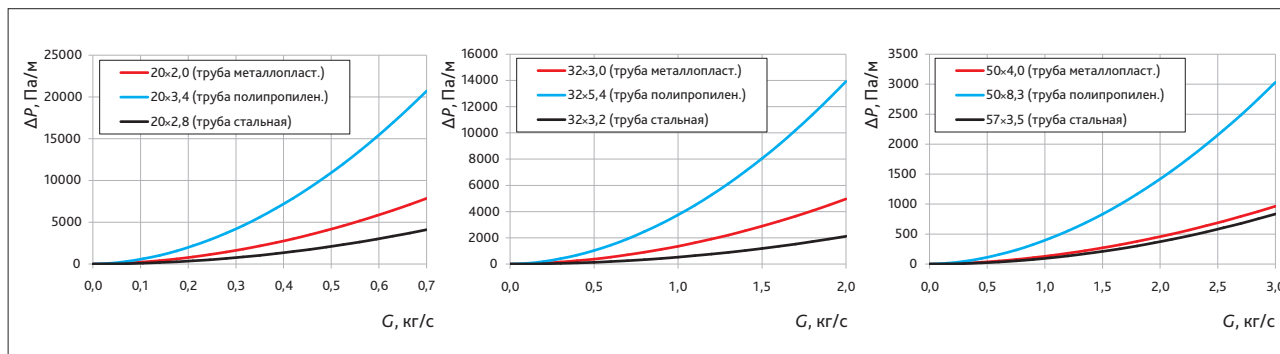


Рис. 2. Графики зависимостей удельных потерь давления от массового расхода теплоносителя для различных диаметров трубопроводов

$R_{вн}^L$  – линейное термическое сопротивление теплоотдаче внутренней стенки трубопровода, (м·°С)/Вт;

$R_{ст}^L$  – линейное термическое сопротивление цилиндрической стенки трубопровода, (м·°С)/Вт;

$R_{н}^L$  – линейное термическое сопротивление теплоотдаче наружной стенки трубопровода, (м·°С)/Вт.

Определим линейные термические сопротивления следующим образом:

$$R_{вн}^L = \frac{1}{\pi d_{вн}^{cm} \alpha_{вн}}, \quad (7)$$

$$R_{ст}^L = \frac{1}{2\pi \lambda_{ст}} \ln \frac{d_{н}^{cm}}{d_{вн}^{cm}}, \quad (8)$$

$$R_{н}^L = \frac{1}{\pi d_{н}^{cm} \alpha_{н}}, \quad (9)$$

где  $\alpha_{н}$ ,  $\alpha_{вн}$  – коэффициенты теплоотдачи наружной и внутренней поверхностей трубопровода, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);

$\lambda_{ст}$  – коэффициент теплопроводности материала стенки трубопровода, Вт/(м·°С);

$d_{н}^{cm}$ ,  $d_{вн}^{cm}$  – наружный и внутренний диаметры трубопровода, м.

Для определенности примем при расчетах температуру среды внутри трубопровода 65 °С, температуру окружающей среды 20 °С, коэффициент теплопроводности стали 52 Вт/(м·°С), коэффициент теплопроводности полипропилена 0,24 Вт/(м·°С), коэффициент теплопроводности сшитого полиэтилена 0,45 Вт/(м·°С), коэффициент теплоотдачи наружной поверхности трубопровода 10 Вт/(м<sup>2</sup>·°С). Сопротивление теплоотдаче внутренней стенки трубопровода для жидкой среды является пренебрежимо малым, в расчете учитывать не будем. Наружные и внутренние диаметры трубопроводов приведены в табл. 1. Результаты расчетов линейной плотности теплового потока для трубопроводов из различных материалов по зависимостям (6)–(9) приведены на диаграммах (рис. 4). Следует отметить, что полученные расчетным путем данные линейной плотности теплового потока оказались в среднем на 25 % меньше значений, приведенных в таблице [10] для металлических трубопроводов.

Ранее было показано, что при замене стальных труб пластиковыми и выполнении условия непревышения удельных потерь давления при равных расходах теплоносителя типоразмер (диаметр) последних следует увеличивать, что, в свою очередь, ведет к повышению площади поверхности теплообмена с окружающим

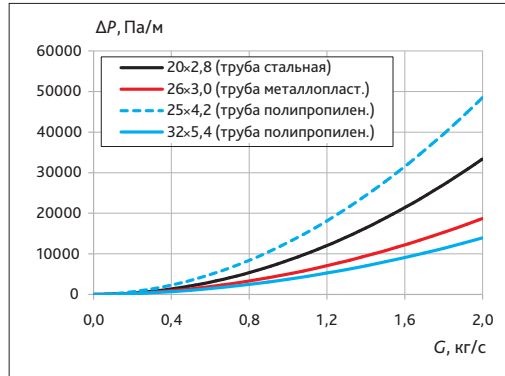


Рис. 3. Сравнение различных типов трубопроводов по удельным потерям давления

воздухом. Из диаграмм (рис. 4) видно, что значения удельных плотностей тепловых потоков (выделены в рамку) для стальной трубы – 20×2,8, металлопластиковой – 26×3,0 и армированной полипропиленовой – 32×5,4 сопоставимы друг с другом. Следовательно, утверждения о повышении энергоэффективности инженерных систем из-за снижения тепловых потерь при использовании пластиковых труб в данном случае также являются неправомерными.

Рассмотрим вопрос о необходимости изолирования трубопроводов из полимерных материалов на конкретном примере. Проверим условие образования конденсата на поверхности полипропиленовой трубы 20×3,4 системы холодного водоснабжения. Примем температуру

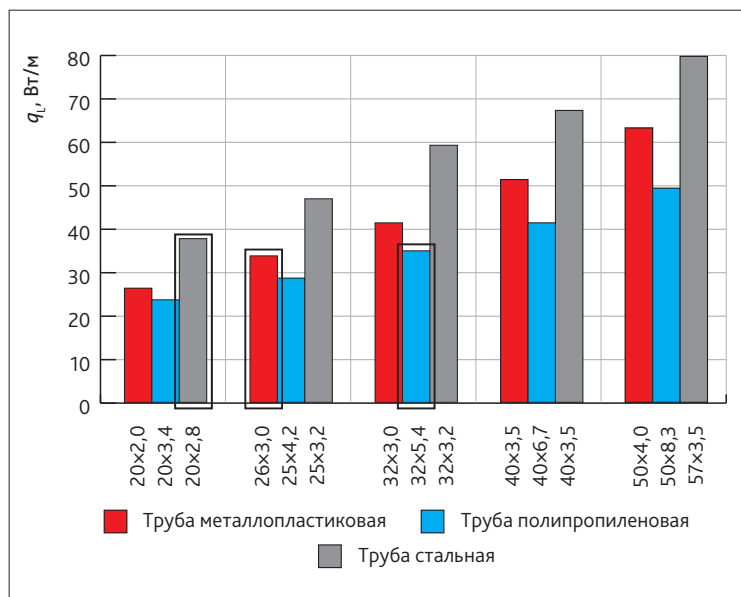


Рис. 4. Сравнение различных типов трубопроводов по линейной плотности теплового потока

воды +5 °С, температуру воздуха в помещении +20 °С, относительную влажность 60 %. Коэффициент теплопроводности полипропилена составляет 0,24 Вт/(м·°С), коэффициент теплоотдачи наружной поверхности трубопровода 7 Вт/(м<sup>2</sup>·°С). Расчет выполним согласно [9, 11], пренебрегая сопротивлением теплоотдаче внутренней стенки трубы для жидкой среды.

Определим линейные термические сопротивления:

$$R_{cm}^L = \frac{1}{2\pi\lambda_{cm}} \ln \frac{d_{вн}^{cm}}{d_{н}^{cm}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,24} \ln \frac{20,0}{13,2} = 0,276 \text{ (м} \cdot \text{°С)/Вт,}$$

$$R_H^L = \frac{1}{\pi d_H^{cm} \alpha_H} = \frac{1}{3,14 \cdot (20,0/1000) \cdot 7} = 2,275 \text{ (м} \cdot \text{°С)/Вт.}$$

Линейная плотность теплового потока составит:

$$q_L = \frac{t_H - t_B}{R_{cm}^L + R_H^L} = \frac{20 - 5}{0,276 + 2,275} = 5,88 \text{ Вт/м.}$$

Температура на наружной поверхности стенки трубы равна:

$$t_n = t_H - q_L R_H^L = 20 - 5,88 \cdot 2,275 = 6,6 \text{ °С.}$$

Парциальное давление насыщенного пара:

$$P_n = \exp \frac{16,57 t_n - 115,72}{233,77 + 0,997 t_n} = \exp \frac{16,57 \cdot 20 - 115,72}{233,77 + 0,997 \cdot 20} = 2,340 \text{ кПа.}$$

Парциальное давление водяного пара:

$$P_n^P = \frac{\varphi P_n}{100} = \frac{60 \cdot 2,340}{100} = 1,404 \text{ кПа.}$$

Температура точки росы:

$$t_p = \frac{233,77 \ln P_n^P + 115,72}{16,57 - 0,997 \ln P_n^P} = \frac{233,77 \ln 1,404 + 115,72}{16,57 - 0,997 \ln 1,404} = 12,0 \text{ °С.}$$

Температура на поверхности неизолированного трубопровода при рассматриваемых условиях  $t_n = 6,6$  °С меньше температуры точки росы окружающего воздуха  $t_p = 12,0$  °С, что является условием образования конденсата. Таким образом, рекомендации об отсутствии необходимости изолирования пластиковых трубопроводов по сравнению со стальными в данном случае также не подтверждаются расчетом.

## Заключение

Проведен сравнительный анализ тепловых и гидравлических характеристик трубопроводов

из различных материалов, используя классические уравнения гидравлики и теплопередачи. Расчетом показано, что, несмотря на низкие значения эквивалентной шероховатости и теплопроводности полимеров, утверждения, связанные со снижением гидравлических и тепловых потерь и отсутствием необходимости изолирования пластиковых трубопроводов по сравнению со стальными, во многих случаях являются неправомерными и носят, скорее, рекламный характер. Для принятия правильных проектных решений проектировщикам следует внимательнее относиться к подобным рекомендациям, опираться на грамотные технические расчеты и проверенные экспериментальные данные.

## Литература

1. Олейников Ю. Д. Особенности монтажа полипропиленовых труб // С.О.К. – 2011. – № 7.
2. Сасин В. И. Применение полимерных труб в системах отопления // Сантехника. – 2011. – № 3.
3. Наумов А. Л. Инженерные системы малоэтажных зданий. Ч. 2. Системы климатизации // АВОК. – 2014. – № 2.
4. Шонина Н. А. Применение пластиковых труб для систем водоснабжения и водоотведения при капитальном ремонте зданий // Сантехника. – 2015. – № 4.
5. СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003». – М., 2012.
6. СП 40-101-96 «Проектирование и монтаж трубопроводов из полипропилена «Рандом сополимер». – М., 1996.
7. Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети: Учеб. для вузов. 7-е изд., стереотип. – М.: Изд. МЭИ, 2001.
8. Щекин Р. В., Корневский С. М., Бем Г. Е. и др. Справочник по теплоснабжению и вентиляции. 4-е изд., перераб. и доп. – Киев: Будівельник, 1976.
9. СП 61.13330.2012 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. Актуализированная редакция СНиП 41-03-2003». – М., 2012.
10. Рекомендации по применению секционных радиаторов итальянского предприятия GLOBAL. 3-я редакция. – М.: Изд. Научно-техн. фирмы ООО «Витатерм», 2010.
11. СТО 59705183-001-2007 «Стандарт организации. Конструкции тепловой изоляции для оборудования и трубопроводов с применением теплоизоляционных пенополиэтиленовых изделий Energoflex. Проектирование и монтаж». 7-е изд., испр. и доп. – М., 2015.