

Б. Е. Байгалиев, А. В. Черноглазова, С. В. Темникова,
А. В. Щелчков, И. Р. Тимербулатова, П. Э. Калмыков

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЗАМЕНЫ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ТРУБ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ НА ТРУБЫ ИЗ ПОЛИСУЛЬФОНА

Ключевые слова: теплоснабжение, теплоизоляция, теплопроводность, теплоотдача, полимеры, время эксплуатации.

Исследуется возможность замены стальных труб с тепловой изоляцией из пенополиуретана и полиэтиленовой защитной оболочкой изготовленных по ГОСТ 30732-2006 на трубы из полимерных материалов.

Keywords: heating, thermal insulation, thermal conductivity, heat transfer, polymers, the operation.

The possibility of replacing steel pipes with thermal insulation made of polyurethane foam and plastic protective sheath made to GOST 30732-2006 for pipes made of polymeric materials.

Развитие современной техники характеризуется повышением требований к качеству и эксплуатационным свойствам изделий и конструкций при снижении себестоимости их производства. В настоящее время наблюдается тенденция, связанная с увеличением объемов выпуска и применения полимерных материалов по сравнению с другими материалами. Объясняется это их преимуществами: невысокой плотностью, возможностью регулирования свойств путем введения различных модифицирующих добавок (наполнителей, пластификаторов, стабилизаторов), низким коэффициентом теплопроводности при 23°C, 0,26 Вт/м·К не более, высокими диэлектрическими свойствами, усталостной и химической стойкостью, антифрикционными свойствами и дешевизной исходного сырья, полимеры имеют более высокую технологичность, поскольку при переработке в готовые изделия отличаются малой операционностью и низкой энергоемкостью. Например, последний показатель у полимерных материалов по сравнению с титановыми сплавами ниже в 20 раз, с алюминиевыми в 5 раз, со сталью в 3 раза. Снижение эксплуатационных затрат на антикоррозионную защиту, смазку, а также замена труб в отдельных частях теплотрассы делает выбор полимерных материалов экономически наиболее предпочтительным [1-4]. Особенно следует подчеркнуть высокий срок эксплуатации изделий из полимерных материалов. Отсюда и неуклонный рост объемов применения полимерных материалов во всех отраслях современной промышленности рис. 1.

В современных жилых домах уже используются трубы горячего водоснабжения изготовленных из полимерных материалов (поливинилхлорид ПВХ, полиэтилен низкого ПНД или высокого давления ПВД, полипропилена ПП), которые имеют рабочую температуру 95°C. Для подвода теплоносителя от источников производства до потребителя в настоящее время используются трубы, изготовленные по ГОСТ 30732-2006.

Предметом наших исследований является возможность замены металлических элементов, которые присутствуют в трубах, изготовленных по ГОСТ 30732-2006, на трубы из полимерных материалов.

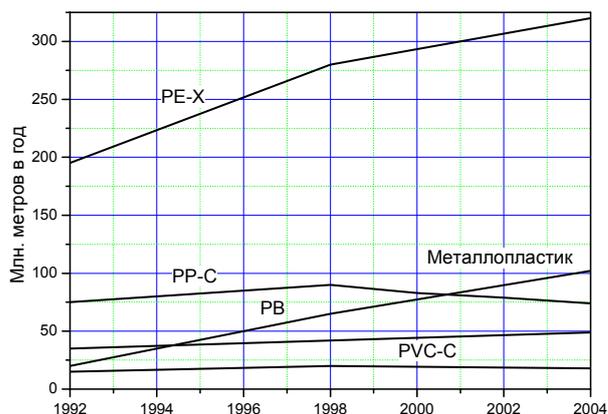


Рис. 1 - Рост применения пластиковых труб в Европе: PE-X – сшитый полиэтилен, PP-C – блок-сополимер полипропилена, PB – полибутилен, PVC-C – хлорированный поливинилхлорид

Формование труб методом экструзии, используемого в настоящее время, заключается в нагреве полимера до вязкотекучего состояния. Другим способом, является метод формования из порошковых полимерных материалов, который заключается в том, что полимер нагревается до температуры 0,6-0,8 температуры текучести. За счет уменьшения температуры, уменьшаются энергозатраты, а в изделии образуются поры, которые уменьшают теплопроводность и уменьшают расход порошкового полимерного материала до 6% [2].

Для обеспечения теплоснабжения объектов ЖКХ и ПГС используются трубы изготовленные согласно ГОСТ 30732-2006, который распространяется на стальные и фасонные изделия с тепловой изоляцией из пенополиуретана в полиэтиленовой оболочке.

Представленный на рис. 2 элемент трубы рассчитан (согласно ГОСТа) на параметры теплоносителя с рабочим давлением не более 1,6 МПа и температурой не более 140°C, для подземной прокладки тепловых сетей.

Для замены труб горячего теплоснабжения стандартной комплектации, включающих согласно ГОСТа изоляцию из ППУ (2), трубу-оболочку (3), стальную трубу (4) (рис. 2), на трубу из полимерного материала необходимо провести следующие ме-

роприятия: сравнительные расчеты на прочность и экономическую целесообразность.

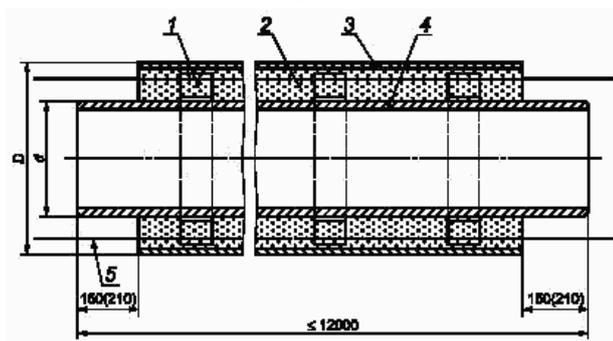


Рис. 2 – Конструкция трубы по ГОСТ 30732-2006: 1 – центрирующая опора, 2 – изоляция из ППУ, 3 – труба-оболочка, 4 – стальная труба, 5 – проводники-индикаторы системы оперативного дистанционного контроля (показаны условно)

Расчет долговечности и прочности труб и фасонных изделий (1) проводим по стандартным методикам (ГОСТ 14249-69), используемых в теплоснабжении, а именно:

$$\log(t) = A + \frac{B}{T} + \log(s) \cdot \left(C + \frac{D}{T} \right), \quad (1)$$

где s – окружное напряжение, МПа; t – температура, К; T – срок жизни или эксплуатации, часов; $A = -105,8616$; $B = 57895,49$; $C = -24,7997$; $D = -18506,15$.

Расчеты по экономической целесообразности для труб и фасонных изделий проводим с учетом стоимости материалов, потребных на изготовление единицы продукции. Для этого определяем объем материалов погонного метра трубы и с учетом его стоимости, экономику.

Анализ свойств полимерных материалов, представленных в табл. 1, позволил выбрать полисульфон так как он имеет рабочую температуру 160°C , в то время как по ГОСТу требуется 140°C , и предел прочности при растяжении 400 кг/см^2 .

Таблица 1 – Свойства материалов

Материал	$T_{\text{раб}}, ^\circ\text{C}$	Коэффициент теплопроводности, $\lambda, \text{Вт/м}\cdot\text{К}$	Плотность, $\rho, \text{г/см}^3$	Предел прочности при растяжении, $\sigma_B, \text{кг/см}^2$
ПВД	103-110	0,32-0,36	0,940-0,960	70-140 (115-150)
ПНД	120-125	0,42-0,44	0,9100,930	200-230 (220)
ПСД	80-120	0,42-0,44	0,930-0,940	270-330
ПС	70-80	0,082	1,060	450-550
Пентапласт	200-300	0,13	1,410	245
Винипласт	20-80	0,15-0,16	1,410	400
Полисульфон	160	0,26	1,23	400

Полисульфон модифицированный (ПСН-М) – нетоксичен и не оказывает вредного влияния на организм человека. При нормальных условиях ПСН-М стабилен, химически неактивен, устойчив к воздействию внешней среды и окислению. Материал поставляется в гранулах. Хорошо перерабатывается на термопластавтоматах и может применяться для изготовления труб теплоснабжения.

Наилучшее применение ПСН-М находит в теплотехнике, т.к. материал обладает сочетанием теплопроводности, высокими прочностными характеристиками и диэлектрическими свойствами.

Ближайшие аналоги: PES (полиэфирсульфон), PPSU (полифениленсульфон), PPS (полифениленсульфид), PSU, PSF (полисульфон), ПАЕК (полиарилэфиркетон), LCP (жидкокристаллический полимер), PEI (полиэфиримид), PAI (полиамидимид).

Для трубы, изготовленной из ПСН-М заменяющей все три слоя (металл, пенополиуретан, полиэтилен низкого давления) напряжения будут равны, в зависимости от диаметра размером 26 – 1396 мм предел прочности при растяжении будет равен $6,5 - 109,49 \text{ кг/см}^2$.

Расчет показал, что с учетом коэффициента запаса прочности (n) равным 2 предел прочности при номинальной (расчетной) толщине стенки $1,04 \text{ мм}$ составляет $6,5 \text{ кг/см}^2$, а при $54,76 \text{ мм}$ составляет $109,49 \text{ кг/см}^2$, в то время как в справочнике предел прочности полисульфона равен 400 кг/см^2 (табл. 1).

Следовательно, по прочностным характеристикам ПСН-М подходит и может заменить композитную трубу с металлической трубой на трубу, изготовленную полностью из ПСН-М.

Так как предел прочности полисульфона 400 кг/см^2 , то толщина теплоизоляции может быть уменьшена с 102 мм до $27,38 \text{ мм}$.

Расчет по теплопроводности и термическому сопротивлению труб и фасонных изделий при стационарном тепловом режиме [3] выполняем по формулам (2-3):

$$q_1 = \pi \times k_1 \times (t_{f1} - t_{f2}), \quad (2)$$

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{R_{k_i}}{d_{i+1}} + \frac{1}{\alpha_2 d_{n+1}}}, \quad (3)$$

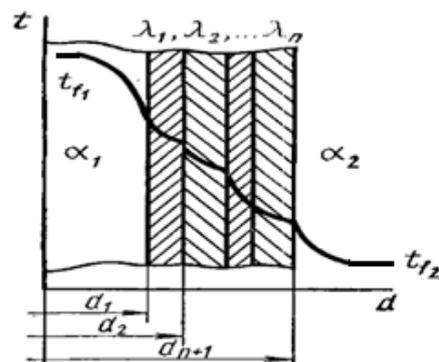


Рис. 3 – Теплопередача через многослойную цилиндрическую стенку при стационарном режиме

Расчет стоимости одного погонного метра трубы проводился с учетом цен, ПНД с плотностью 0,91 – 0,93 гр/см³ стоимостью 64 руб/кг и ПСН-М с плотностью 1,23 стоимостью 150-380 руб/кг.

Результаты расчета стоимости одного погонного метра труб из различных материалов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчет стоимости погонного метра трубы

d _в , мм	Материал	d _н , мм	V, см ³	G, кг	Стоимость, руб.
26	ПНД	90	58,28	0,053-0,056	3,39- 3,58
	ПСН	90	5,83	7,200	1080,00-2736,00
	ПСН (n=2)	28	0,08	0,104	15,00-39,64
150	ПНД	250	314,0	0,286-0,302	18,29-19,29
	ПСН	250	31,40	39,200	5880,00-14896,00
	ПСН (n=2)	162	2,94	3,615	542,25-1373,71
516	ПНД	710	1867,08	1,699-1,792	108,74-114,71
	ПСН	710	186,71	233,38	35095,60-88686,00
	ПСН (n=2)	566	42,47	52,236	7835,35-29774,33
802	ПНД	1000	2800,84	2,549-2,689	163,12 - 172,08
	ПСН	1000	280,09	350,11	52516,0 - 133040,0
	ПСН (n=2)	866	89,04	109,516	16427,4-41616,08
1396	ПНД	1600	4797,79	4,366-4,606	279,42-294,78
	ПСН	1600	479,78	599,35	89902,0-227750,0
	ПСН (n=2)	1500	236,43	290,81	43621,2-110507,1
802	Стальная труба с ППУ-ПЭ	1020			29000
516	ППУ-ПЭ	530		–	1437,90

Таким образом, учитывая выше сказанное, поставленный вопрос о замене трубы горячего теплоснабжения стандартной комплектации, включающих согласно ГОСТа изоляцию из ППУ, трубу-оболочку, стальную трубу, на трубу из полимерного материала считаем своевременным.

Литература

1. Б.Е. Байгалиев, А.В. Черноглазова, С.В. Темникова, И.Р. Тимербулатова, Д.Р. Биктимиров. Возможность применения порошковых полимерных материалов для изделий различного функционального назначения. Вестник Казанского технологического университета, 14, 7, 93-96 (2011).
2. Патент РФ 2404055 (2010).
3. Болграсский А.В., Мухачев Г.А., Шукин В.К. Термодинамика и теплопередача. Высшая школа. Москва, 1975, 496с.
4. И.А. Попов, А.В. Щелчков, М.З. Яркаев, Д.В. Рыжков, Р.А. Ульянова. Теплоотдача и гидросопротивление профилированных труб с 2d и 3d шероховатостью при переходных режимах течения. Вестник Казанского технологического университета, 15, 16, 56-59 (2012).

© **Б. Е. Байгалиев** - д-р техн. наук, проф., каф. теоретических основ теплотехники КНИТУ– КАИ, baigaliev@rambler.ru.; **А. В. Черноглазова** - канд. техн. наук, доц. каф. материаловедения, сварки и структурообразующих технологий КНИТУ – КАИ, alevtinac@mail.ru; **С. В. Темникова** - канд. техн. наук, доц. каф. математики, Луганский национальный университет им. Тараса Шевченко; **А. В. Щелчков** - канд. техн. наук, доц. каф. теоретических основ теплотехники КНИТУ– КАИ; **И. Р. Тимербулатова** - канд. техн. наук, доц. каф. государственного муниципального управления и социологии КНИТУ; **П. Э. Калмыков** - студент кафедры теоретических основ теплотехники КНИТУ– КАИ, pasha200591@rambler.ru.