

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 используют 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: РЕ-Х – сшитый полиэтилен, РР-С – блок-сополимер полипропилена, РВ – полибутилен, РVC-С – 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 пенополи-уретана 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 мероприятия: 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: (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/см². Таблица 1 – Свойства материалов

Материал	Траб, °C	Коэффициент теплопроводности, λ , Вт/м·К	Плотность, ρ , г/см ³	Предел прочности при растяжении, σ , 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 теплостойкости, высокими прочностными характеристиками и диэлектрическими свойствами. Ближайшие аналоги: PES (полиэфирсульфон), PPSU (полифениленсульфон), PPS (полифениленсульфид), PSU, PSF (полисульфон), PAEK (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 кг/см².

Расчет показал, что с учетом коэффициента запаса прочности (n) равным 2 предел прочности при номинальной (расчетной) толщине стенки 1,04 мм составляет 6,5 кг/см², а при 54,76 мм составляет 109,49 кг/см², в то время как в справочнике предел прочности полисульфона равен 400 кг/см² (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/см², то толщина теплоизоляции может быть уменьшена с 102 мм до 27,38 мм. Расчет по теплопроводности и термическому сопротивлению труб и фасонных изделий при стационарном тепловом режиме [3] выполняем по формулам (2-3): (2) (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 , см³ 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.		