

АНАЛИЗ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИТНЫХ ТРУБ ПО СРАВНЕНИЮ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ И ПОЛИМЕРНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Т.А. Степанова, К.В. Строгонов, А.В. Федюхин, П.В. Хорева, И.М. Бернадинер

Национальный исследовательский университет "МЭИ"

Представлен краткий анализ состояния тепловых сетей в Российской Федерации с обоснованием необходимости модернизации имеющейся трубопроводной системы. Проведено сравнение различных существующих и перспективных материалов трубопроводов и тепловой изоляции с точки зрения их теплогидравлических показателей. Выполнена оценка экономического эффекта от снижения тепловых и гидравлических потерь при сопоставлении композитного и металлического трубопроводов для участка протяженностью 1000 м. Показано, что оптимальная толщина тепловой изоляции для композитных трубопроводов может быть принята ниже, чем для металлических труб на 4–5 мм.

Ключевые слова: композитные материалы, стеклопластик, трубопровод, теплоснабжение, снижение тепловых и гидравлических потерь

Analysis of Thermal-Hydraulic Characteristics of Composite Pipes Compared to Metallic and Polymeric Materials

T.A. Stepanova, K.V. Strogonov, A.V. Fedyukhin, P.V. Khoreva, I.M. Bernadiner

National Research University "Moscow Power Engineering Institute", 111250 Moscow, Russia

A brief analysis of the thermal networks in the Russian Federation with evidence of upgrading necessity of the existing pipeline system is presented. A comparison of the various existing and promising materials of pipelines and thermal insulation from the point of view of their thermal-hydraulic characteristics are presented. It's estimated an economic effect for the reduction of thermal and hydraulic losses in the comparison of composite and metal piping length of 1000 meters. It is shown that the optimum thickness of thermal insulation composite piping can be taken smaller than for the metal tube 4-5 mm.

Keywords: composite materials, fiberglass, pipeline, heat supply, reduction of heat and hydraulic losses

DOI: 10.18412/1816-0395-2019-01-38-41

Для изготовления современных высокоэффективных и долговечных труб в зависимости от назначения, места и способа прокладки могут применяться различные композитные материалы, такие как базальтовые, стеклянные или углеродные волокна, различные синтетические волокна, резины, резинопласты и фторопласты различных марок, а также связующие материалы на базе различных смол и клеевых композиций.

Высокие удельные показатели прочности и жесткости волокнистых композиционных материа-

лов наряду с химической стойкостью, сравнительно малой массой и др., сделали эти материалы привлекательными для изготовления трубопроводов различного назначения. Преимущества применения трубопроводов из композитных материалов заключаются в увеличении расчетного срока службы тепловых сетей в два раза по сравнению с металлическими трубами, уменьшении гидравлических и тепловых потерь за счет физико-химических свойств материала, а также в более низких трудовых и финансовых затратах на строительство теплотрасс. Се-

годня композитные трубы находят применение в сетях теплоснабжения с температурным графиком 130/70 и ниже. Для применения на графике 150/70 требуется их опытная апробация и сертификация на расчетную температуру теплоносителя 150 °С. Рассматриваемые температурные графики (95/70, 110/70 и 130/70) являются типовыми для централизованных систем теплоснабжения в Российской Федерации. Численные значения, указанные через дробь, отображают максимальную температуру теплоносителя в прямом и обратном трубо-

проводах при номинальной тепловой нагрузке потребителя.

В настоящее время в Российской Федерации наибольшее распространение для нужд централизованного теплоснабжения получили металлические трубы с изоляцией из минеральной ваты и стекловолокна. При этом срок службы большого количества имеющихся тепловых сетей уже превысил расчетный период в 25 лет (СНиП 41-01-2003 "Отопление, вентиляция и кондиционирование"). Степень износа объектов коммунальной инфраструктуры по отдельным муниципальным образованиям уже достигла 70–80 % при ежегодном нарастании износа в 1–2 % [1]. В настоящее время при ремонте и прокладке новых теплотрасс чаще всего применяются металлические или полимерные трубы в изоляции из пенополиуретана. В предлагаемой статье проведено сравнение различных существующих и перспективных материалов трубопроводов и тепловой изоляции по теплогидравлическим показателям.

Для сооружения тепловых сетей чаще используются металлические трубы из стали марок Ст2, Ст3, СтЮ, Ст20, Ст102С1, Ст15ГС, Ст16ГС. Выбор труб и арматуры для трубопроводов проводится по условным диаметрам (проходам), давлению и температуре рабочей среды теплоносителя. Для трубопроводов наружных тепловых сетей используют стальные бесшовные или электросварные трубы. Фасонные части, устанавливаемые на наружных теплопроводах (отводы, переходы и пр.), должны быть также стальными сварными, гнутыми или штампованными. Преимущественное применение металлических труб для тепловых сетей в Российской Федерации обусловлено высокими механическими и прочностными характеристиками, наличием развитого промышленного сектора производства и обслуживания металлопрокатных изделий, обширного опыта использования данных трубопроводов у эксплуатирующих организаций, а также отсутствием рынка (за исключением последних 10–15 лет) альтернативных эффективных материалов.

В последние годы в ходе реконструкции и для ремонта теп-

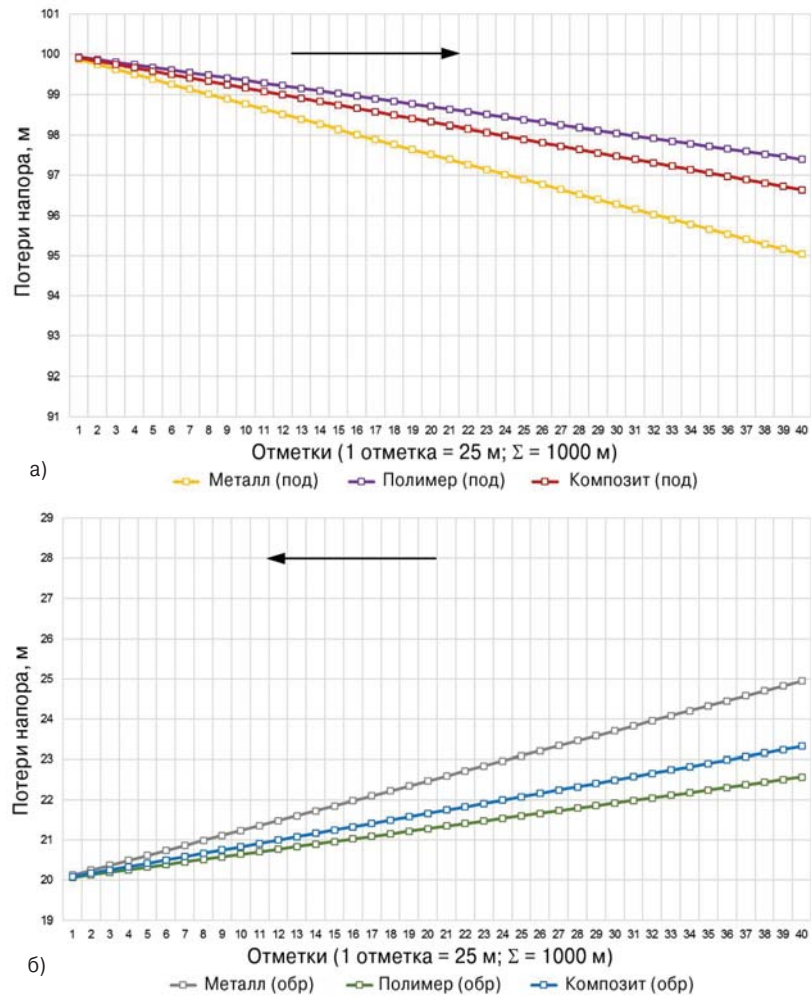


Рис. 1. Потери напора в подающей (а) и обратной (б) линиях тепловой сети для трубопроводов из различных материалов с Ду 200 (температурный график 95/70)

Fig. 1. Head loss in flow (a) and return (b) heat network lines for pipelines of various materials with DN 200 (temperature chart 95/70)

ловых сетей стали использоваться высокоэкономичные предизолированные трубы, изготовленные из термостойких полимерных (чаще сшитого полиэтилена) материалов. Их преимуществами является удобство и простота при монтаже, долгий срок службы и антикоррозийная защита. Данный материал чаще применяется для внутренних тепловых контуров с температурой теплоносителя до 95 °С и давлением до 1,6 МПа ввиду ограничений по физико-химическим свойствам материала.

Для оценки гидравлических и тепловых потерь была создана электронная модель в геоинформационной системе (ГИС) Zulu [2]. Система теплоснабжения состоит из источника, потребителя и прямого условного участка наружной тепловой сети протяженностью 1 км, разделенного на 40

участков по 25 метров каждый. Данный вариант считается условным и необходим для общей оценки гидравлических и тепловых потерь при использовании трубопроводов и изоляции из различных материалов.

Расчет проводился на температурные графики (температуру теплоносителя в прямом и обратном трубопроводах) 95/70, 110/70 и 130/70. В табл. 1 приведены исходные данные для создания электронной модели. Среднегодовая и расчетная температуры наружного воздуха соответствуют северным регионам страны, в которых применение композитных трубопроводов является наиболее экономически обоснованным.

Для полимерного трубопровода расчет проводился только для температурного графика 95/70 из-за ограничения рабочей температуры для данного мате-

Таблица 1. Исходные данные электронной модели системы теплоснабжения

Table 1. Source data of the electronic model of the heating system

Составляющие системы	Показатель	Значение
Источник	Расчетная температура в подающем трубопроводе, °С	95/110/130
	Расчетная температура, °С:	
	холодной воды	5
	наружного воздуха	-31
	Напор в трубопроводе, м:	
	подающем	100
	обратном	20
	Среднегодовая температура, °С:	
	воды в подающем трубопроводе	65/90/110
	воды в обратном трубопроводе	50
Потребитель	Расчетная температура, °С:	
	воды на выходе из системы отопления	70
	воды на входе в систему отопления	95/110/130
	внутреннего воздуха для СО	20
Участок тепловой сети	Длина участка, м	25
	Вид прокладки тепловой сети	Подземная бесканальная
	Вид грунта	Песок (супесь, сухой)
	Глубина заложения трубопровода, м	1
	Расстояние между осями трубопроводов, м	1

риала, поэтому для температур теплоносителя свыше 95 °С полимерные трубопроводы в расчетах не рассматривались, для композитного трубопровода расчет проводился для двух видов изоляции — пенополиуретан (ППУ) и вспененный каучук (ВК). Расчетная нагрузка на отопление принята на основании [3] и для температурного графика 95/70 задавалась

0,06–2,7 Гкал/ч; для 110/70 — 0,1–48 Гкал/ч и для 130/70 — 0,15–72 Гкал/ч.

Толщина изоляции трубопровода принята на основании ГОСТ 30732-2006 "Трубы и фасонные изделия стальные с тепловой изоляцией из пенополиуретана с защитной оболочкой" в диапазоне 0,0315–0,079 м. Шероховатость трубопровода

принята на основании СНиП 41-01-2003 для металлического трубопровода равной 0,5 мм, для полимерного трубопровода — 0,01 мм, для трубопровода из композита — 0,08 мм.

На рис. 1 и в табл. 2 представлены результаты расчета гидравлических потерь для трубопроводов из различных материалов. Приведены результаты только для условного диаметра $D_u = 200$ мм, чтобы можно было провести объективное сравнение показателей для трех видов материалов (металл, полимер и композит), так как полимерные трубопроводы с диаметром свыше 200 мм не применяются для нужд теплоснабжения из-за ограничения рабочей температуры для данного материала 95 °С.

Кроме того, нормативы оценки удельных тепловых потерь (СО 153-34.20.523-2003 и СНиП 41-03-2003) не предполагают проведение расчета на пиковую температуру 150 °С. Отдельно следует отметить, что с увеличением расстояния разница в потерях напора будет возрастать. Также в табл. 2 и на рис. 2 представлены результаты расчета тепловых потерь для различных материалов трубопроводов, но с равной толщиной ППУ изоляции согласно ГОСТ 30732-2006.

Расчеты в Гис Zulu показали, что в количественном отношении наименьшие тепловые потери по длине отмечаются у композитного трубопровода, что обусловлено наименьшей теплопроводностью стенки трубы в сравнении с другими материалами. Гидравлические потери в полимерном трубопроводе меньше на ~ 48 %, чем в металлическом; гидравлические потери в композитном трубопроводе меньше на ~ 33 %, чем в металлическом; удельные тепловые потери меньше на ~ 3 % и ~ 4,6 % соответственно.

Потери напора в подающей линии тепловой сети составляют для металлического трубопровода ~ 5 м вод. ст.; полимерного ~ 2,6 м вод. ст. и композитного ~ 3,4 м вод. ст.

Потери напора в обратной линии тепловой сети составляют для металлического трубопровода ~ 5 м вод. ст.; полимерного ~ 2,6 м вод. ст.; композитного ~ 3,4 м вод. ст. Таким образом,

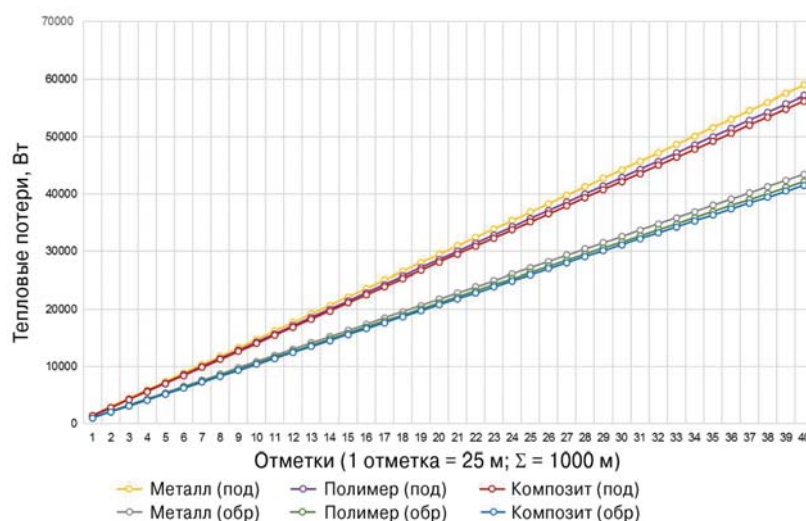


Рис. 2. Тепловые потери для трубопроводов из различных материалов с $D_u 200$ (температурный график 95/70)

Fig. 2. Heat loss for pipelines of various materials with DN 200 (temperature chart 95/70)

гидравлические характеристики композитного трубопровода уступают характеристикам полимерного, но превосходят металлического. Снижение гидравлических потерь при использовании композитных или полимерных труб взамен металлических приводит к снижению электрической мощности на привод сетевых или циркуляционных насосов. Известно [6], что мощность (N) и напор насоса (H) пропорциональны частоте вращения рабочего колеса (n), следовательно можно записать

$$N \sim n^3, H \sim n^2 \rightarrow N \sim H^{3/2}.$$

Далее определяются расчетное снижение напора (при напоре сетевых насосов на источнике, равном 80 м) и пропорционально — снижение электрической мощности. Для расчетных тепловых нагрузок электронной модели определяется необходимая электрическая мощность насосной группы и, как следствие, потенциал снижения нагрузки. Гидравлические потери в полимерных трубопроводах меньше в среднем на ~ 43 %, чем в металлических; гидравлические потери в композитных трубопроводах меньше в среднем на ~ 30 %, чем в металлических.

Применение полимерных трубопроводов по сравнению с металлическими трубопроводами позволяет снизить установленную мощность насосной группы в среднем на 7,6 %, применение композитных трубопроводов — на 5,7 %.

Также был проведен расчет тепловых потерь для композит-

Таблица 2. Результаты расчета гидравлических и тепловых потерь для температурных графиков 95/70, 110/70 и 130/70 и трубопроводов из различных материалов с Ду 200

Table 2. The results of the calculation of hydraulic and heat losses for temperature graphs 95/70, 110/70 and 130/70 and pipelines of various materials with Du 200

Параметр	Материал		
	Металл	Полимер	Композит
95/70			
Располагаемый напор на вводе потребителя, м	70,091	74,830	73,321
Потери располагаемого напора, м	9,909	5,170	6,679
Тепловые потери в тепловых сетях, Гкал/ч	0,08812	0,08545	0,08410
Тепловые потери в тепловых сетях, Вт	102483,56	99378,35	97808,30
Удельные тепловые потери в тепловых сетях, Вт/м	102,48	99,38	97,81
110/70			
Располагаемый напор на вводе потребителя, м	70,283	–	73,447
Потери располагаемого напора, м	9,717	–	6,553
Тепловые потери в тепловых сетях, Гкал/ч	0,09622	–	0,09183
Тепловые потери в тепловых сетях, Вт	111903,86	–	106798,29
Удельные тепловые потери в тепловых сетях, Вт/м	111,90	–	106,80
130/70			
Располагаемый напор на вводе потребителя, м	70,358	–	73,496
Потери располагаемого напора, м	9,642	–	6,504
Тепловые потери в тепловых сетях, Гкал/ч	0,10705	–	0,10217
Тепловые потери в тепловых сетях, Вт	124499,15	–	118823,71
Удельные тепловые потери в тепловых сетях, Вт/м	124,50	–	118,82
Примечание. Условный диаметр трубопровода 200 мм, теплоизоляционный материал ППУ.			

ных трубопроводов в ППУ и ВК изоляции толщиной по ГОСТ 30732-2006. Согласно полученным данным, следует отметить, что изоляция из ВК по сравнению с ППУ позволяет снизить удельные тепловые потери на 16–17 %. Однако в настоящее время не разработано государственных стандартов по оптимальной толщине ВК изоляции. Установлено, что удельные тепловые потери у трубопровода в

ВК изоляции ниже на 16–17 %. Для Ду 200 мм экономия при пиковой нагрузке составляет до 1350 руб./сут при сопоставлении композитного трубопровода в ВК изоляции и металлического в ППУ. Теплоизоляция из ВК позволяет на 16–17 % снизить расчетные тепловые потери по сравнению с теплоизоляцией из ППУ, что делает перспективным применение рассматриваемого материала.

Литература

1. Баймуханов М. О важности анализа состояния водопроводных сетей. Полимерные трубы. 2006. № 5(14). С. 26–29.
2. Инструментальная геоинформационная система для создания ГИС приложений, электронных карт, планов, схем, информационно-справочных систем, моделей инженерных сетей. [Электронный ресурс] URL: <https://www.politerm.com> (дата обращения 21.09.2018).
3. Справочник проектировщика. Проектирование тепловых сетей. Под ред. Николаева А.А. М., Издательство литературы по строительству, 1965. 361 с.
4. Сазанов Б.В., Ситас В.И. Промышленные теплоэнергетические установки и системы. М., Изд. Дом МЭИ, 2014. 275 с.

References

1. Baimukanov M. O vazhnosti analiza sostoyaniya vodoprovodnykh setei. Polimernye truby. 2006. № 5(14). S. 26–29.
2. Instrumental'naya geoinformatsionnaya sistema dlya sozdaniya GIS prilozhenii, elektronnykh kart, planov, skhem, informatsionno-spravochnykh sistem, modelei inzhenernykh setei. [Elektronnyi resurs] URL: <https://www.politerm.com> (data obrashcheniya 21.09.2018).
3. Spravochnik proektirovshchika. Proektirovanie teplovykh setei. Pod red. Nikolaeva A.A. M., Izdatel'stvo literatury po stroitel'stvu, 1965. 361 s.
4. Sazanov B.V., Sitas V.I. Promyshlennyye teploenergeticheskie ustanovki i sistemy. M., Izd. Dom MEI, 2014. 275 s.

T.A. Stepanova – канд. техн. наук, зав. кафедрой, Национальный исследовательский университет "МЭИ", 111250 Россия, г. Москва, ул. Красноказарменная 14, e-mail: StepanovaTA@mpei.ru • K.B. Strogonov – канд. техн. наук, доцент, e-mail: strogonovkv@yandex.ru • A.B. Fedukhin – канд. техн. наук, ст. преподаватель, e-mail: alexander2609@mail.ru • П.В. Хорева – вед. инженер, e-mail: PHoreva@mail.ru • И.М. Бернадинер – канд. техн. наук, доцент, e-mail: bernadinerim@gmail.com

T.A. Stepanova – Cand. Sci. (Eng.), Head of Department, National Research University Moscow Power Engineering Institute, 111250 Russia, Moscow, Krasnokazarmennaya Str. 14, e-mail: StepanovaTA@mpei.ru • K.V. Strogonov – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, e-mail: strogonovkv@yandex.ru • A.V. Fedyukhin – Cand. Sci. (Eng.), Senior Lecturer, e-mail: alexander2609@mail.ru • P.V. Khoreva – Leading Engineer, e-mail: PHoreva@mail.ru • I.M. Bernadiner – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, e-mail: bernadinerim@gmail.com