

УДК 658.265

Расчетное определение продолжительности подогрева полипропиленовых труб для транспортирования при низких температурах

Д-р техн. наук **Н. П. СТАРОСТИН**¹, канд. физ.-мат. наук **М. А. ВАСИЛЬЕВА**²

¹nikstar56@mail.ru, ²eowa@mail.ru

Институт проблем нефти и газа СО РАН
677007, г. Якутск, ул. Автоторожная, 20

Согласно нормативным документам, погрузочно-разгрузочные работы с трубами из полипропилена и их транспортирование следует производить при температуре окружающего воздуха не ниже -10°C . Для транспортирования полипропиленовых труб при температурах окружающего воздуха ниже нормативных предлагается хранить их в неотапливаемых помещениях небольшими партиями в теплоизоляционных контейнерах, в которых осуществлять подогрев труб путем подачи нагретого воздуха. При допущениях, не ограничивающих практическое использование, предложена математическая модель, описывающая динамику температурного поля в теплоизолированной трубе при подогреве нагретым воздухом и охлаждении при погрузке, транспортировании и разгрузке. Приводятся результаты расчета изменения температуры внешних поверхностей полипропиленовых труб для горячего водоснабжения различного размера с теплоизоляцией в процессе подогрева нагретым до 80°C воздухом при температуре окружающей среды -40°C для определения продолжительности подогрева до заданной температуры стенки трубы. Расчетами показано, что полипропиленовые трубы горячего водоснабжения, подогретые до 20°C могут перевозиться в условиях низких температур на достаточно большие расстояния. На основе методик расчета продолжительности подогрева и времени охлаждения до заданной температуры полипропиленовых труб с теплоизоляцией предложена методика расчета продолжительности подогрева, необходимой для погрузки, транспортирования и разгрузки при заданных затратах времени на их выполнение. Расчетами установлено, что предлагаемым способом транспортирования с подогревом в теплоизоляционных контейнерах можно перевозить полипропиленовые трубы при температурах окружающего воздуха ниже нормативных на значительные расстояния в пределах населенных пунктов.

Ключевые слова: полипропиленовая труба, погрузка, транспортирование, разгрузка, температура, математическая модель, расчет, подогрев, нагретый воздух, охлаждение.

Информация о статье

Поступила в редакцию 18.05.2016, принята к печати 24.10.2016

doi: 10.21047/1606-4313-2016-15-4-53-57

Ссылка для цитирования

Старостин Н. П., Васильева М. А. Расчетное определение продолжительности подогрева полипропиленовых труб для транспортирования при низких температурах // Вестник Международной академии холода. 2016. № 4. С. 53–57.

Calculated definition of heating duration of the polypropylene pipes for transportation at low temperatures

D. Sc. **N. P. STAROSTIN**¹, Ph. D. **M. A. VASIL'EVA**²

¹nikstar56@mail.ru, ²eowa@mail.ru

Institute of Oil and Gas Problems SB RAS
677007, Russia, Yakutsk, ul. Avtodorozhnaja, 20

Loading and unloading of polypropylene pipes and their transportation should be carried out at ambient temperature not below -10°C according to standard documents. For transportation of the polypropylene pipes at ambient temperatures below standard ones it is proposed to keep them in not heated rooms putting in the heat-insulating containers, where heating of pipes is carried out by heated air supply. At the assumptions not limiting the practical use, the mathematical model describing dynamics of a temperature field in the heat-isolated pipe while heating by heated air and cooling during loading, transportation and unloading is offered. Calculation results of temperature change are given for external surfaces of the polypropylene pipes for hot water supply having different sizes with thermal insulation during heating by heated air to 80°C at ambient temperature of -40°C to determine heating duration up to a given temperature of pipe wall. Calculations showed that the polypropylene pipes of hot water supply, which are heated to 20°C , can be transported at low temperatures on sufficiently long distances. On the basis of calculation methods for duration of heating and cooling to a

given temperature for polypropylene pipes with thermal insulation the method of calculation of heating duration necessary for loading, transportation and unloading at the given expenses of their implementation time is offered. The calculations made allowed to conclude that the proposed method of transportation with heating in heat-insulating containers can be used for transportation of the polypropylene pipes at the ambient temperatures below standard over considerable distances within a settlement.

Keywords: polypropylene pipe, loading, transportation, unloading, temperature, mathematical model, calculation, heating, heated air, cooling.

Согласно нормативным документам, погрузочно-разгрузочные работы с трубами из полипропилена и их транспортирование следует производить при температуре окружающего воздуха (ОВ) не ниже -10°C , что вынуждает хранить большие объемы труб в отапливаемых помещениях для их перевозки в утепленных транспортных средствах в зимних условиях регионов холодного климата. В то же время полипропиленовые трубы можно хранить в складских помещениях или под навесами при температуре окружающего воздуха от -50 до 50°C в условиях, исключающих их деформирование и попадание прямых солнечных лучей.

Для сокращения расходов на хранение полипропиленовых труб и возможности транспортировки полипропиленовых труб на грузовых транспортных средствах с открытым кузовом при температурах воздуха ниже нормативных предлагается хранить трубы в неотапливаемых складских помещениях небольшими партиями в контейнерах из теплоизоляционного материала с жестким поддоном и хомутами для фиксации труб. Такое хранение позволит перед погрузкой и транспортированием производить подогрев труб в контейнере до температуры допустимой для транспортировки. Схема подогрева труб показана на рис. 1. Подогрев осуществляется следующим образом. К контейнеру с трубами с одной стороны с использованием тепловой пушки подается нагретый воздух, который откачивается с другой стороны контейнера насосом. Максимальная температура нагретого воздуха составляет 95°C (рабочая температура полипропиленовой трубы). После подогрева погрузка, транспортирование и разгрузка труб осуществляются в контейнере.

Продолжительность подогрева полипропиленовых труб нагретым воздухом зависит от комплекса параметров, включающего температуру окружающего и подаваемого нагретого воздуха, скорость потока воздуха в трубах, время, затрачиваемое на погрузку, разгрузку и транспортирование, скорость движения транспортного средства, толщину теплоизоляционного слоя контейнера, его теплофизические свойства и т. д. В данной работе

рассматривается задача определения продолжительности подогрева полипропиленовых труб в контейнере, необходимой для их транспортирования в условиях, характеризуемых заданным комплексом параметров. Задача определения продолжительности подогрева пучка труб в теплоизолированном контейнере путем подачи вовнутрь каждой трубы нагретого воздуха достаточно сложная, поскольку трубы находятся в различных тепловых условиях и тепловые состояния труб взаимосвязаны. Сложность моделирования нестационарного теплового процесса в пучке труб заключается в том, что процесс не может быть описан в цилиндрической системе координат. При моделировании в декартовой системе координат и при использовании численных методов решения задачи сложность области приводит к чрезмерному увеличению количества узлов, в которых необходимо искать решение задачи.

В связи с этим, предполагая скорость потока воздуха одинаковой внутри каждой трубы, примем допущения, упрощающие математическую модель и не ограничивающие практическое использование результатов расчета. При подаче нагретого воздуха вовнутрь труб до достижения на их стенках заданной температуры продолжительность подогрева будет больше для труб, расположенных возле стенки теплоизолированного контейнера. Если необходимая температура достигнута в этих трубах, то в других трубах температура стенки будет выше. Время охлаждения таких труб до температуры минимально допустимой для перевозки будет меньше, чем для труб, расположенных в средней части контейнера. Поэтому достаточно использовать упрощенную модель теплового процесса для одной теплоизолированной трубы, моделируя, таким образом, изменение температуры в точке трубы, контактирующей с теплоизоляционным материалом контейнера. Продолжительность подогрева по такой модели будет рассчитана с избытком, а продолжительность охлаждения с недостатком.

Длина полипропиленовых труб для водоснабжения составляет 4–5 м. При движении воздуха внутри трубы

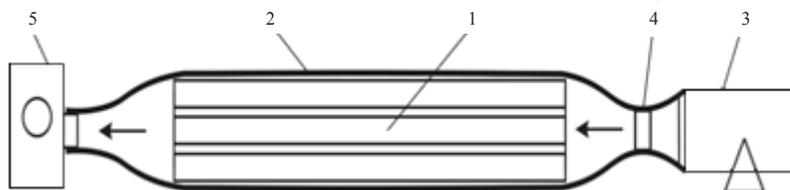


Рис. 1. Общий вид теплоизоляционного контейнера: 1 — трубы; 2 — теплоизоляционное покрытие; 3 — тепловая пушка; 4 — патрубок; 5 — насос

его температура снизится на 3–4 °С [1]. В связи с этим, в математической модели не будем учитывать охлаждение воздуха при его движении внутри трубы. Скорость движения воздуха будет учитываться коэффициентом теплоотдачи с внутренней поверхности трубы при подогреве и с внешней поверхности теплоизоляционного слоя контейнера при транспортировании. Таким образом, нестационарное температурное поле в полипропиленовой трубе со слоем теплоизоляции описывается одномерным уравнением теплопроводности в полярных координатах:

$$C_i \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \lambda_i \frac{\partial T}{\partial r} \right), r_1 < r < r_{iz}, 0 < t \leq t_m, \quad (1)$$

с начальным условием:

$$T(r, 0) = T_{окр} \quad (2)$$

и граничными условиями при подогреве:

$$\lambda_1 \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=r_1} = \alpha_1 (T(r_1, t) - T_{нв}), \quad (3)$$

$$\lambda_2 \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=r_{iz}} = \alpha_2 (T(r_{iz}, t) - T_{окр}), \quad (4)$$

где T — температура, $T_{окр}$ — температура окружающего воздуха, $T_{нв}$ — температура подаваемого нагретого воздуха, t — время, r — полярная координата;

$r_{iz} = r_2 + s, r_2$ — внешний радиус трубы, s — толщина теплоизоляции, r_1 — внутренний радиус трубы. Индекс $i = 1$ для полипропиленовой трубы, $i = 2$ — для теплоизоляционного материала, $i = 3$ — для воздуха.

При охлаждении (погрузка, транспортирование, разгрузка) условие (3) заменяется условием:

$$\lim_{r \rightarrow 0} \left(r \lambda_3 \frac{\partial T}{\partial r} \right) = 0. \quad (5)$$

Коэффициент теплообмена на внутренней поверхности трубы α_1 и на внешней поверхности теплоизоляционного слоя α_2 вычисляются по формулам [2]:

$$\alpha_1 = 0,023 \cdot Pr^{0,4} \cdot Re^{0,8} \frac{\lambda_3}{2 \cdot r_1};$$

$$\alpha_2 = 0,197 \cdot Re^{0,6} \frac{\lambda_3}{2 \cdot r_{iz}}, \quad (6)$$

где λ_3 — коэффициент теплопроводности окружающей среды, Re — критерий Рейнольдса, зависящий от скорости потока воздуха, Pr — число Прандтля.

Задача решалась численно методом конечных разностей [3] при следующих значениях теплофизических характеристик: удельная объемная теплоемкость $C_1 = 1,76 \cdot 10^6; C_2 = 35,2 \cdot 10^3; C_3 = 1211,03$ Дж/(м³·К); коэффициент теплопроводности $\lambda_1 = 0,22; \lambda_2 = 0,035; \lambda_3 = 0,0259$ Вт/(м·К).

Рассмотрим процесс подогрева полипропиленовых труб, хранившихся в условиях низких температур. На рис. 2 приведены результаты расчетов изменения температуры на внешней поверхности труб горячего водоснабжения PN 20 различных диаметров (20, 32, 63, 75, 90, 110 мм) в процессе подогрева нагретым до 80 °С воздухом, подаваемым вовнутрь трубы со скоростью 16 м/с при температуре окружающего воздуха (ОВ) –40 °С. Расчеты показывают, что, например, чтобы подогреть охлажденную до температуры ОВ –40 °С полипропиленовую трубу PN 20 диаметром 110 мм до 20 °С потребуется примерно 1 ч. Также можно определить продолжительность подогрева полипропиленовых труб в теплоизоляционных контейнерах, необходимую для достижения заданной температуры на стенках труб при варьировании таких параметров как температура ОВ, толщина теплоизоляции, температура подаваемого нагретого воздуха, скорость потока воздуха внутри трубы, типоразмер трубы.

Рассмотрим полипропиленовые трубы, хранившиеся в теплом помещении при температуре воздуха $T_{н} = 20$ °С или хранившиеся при низкой температуре и подогретые до температуры $T_{н} = 20$ °С. Определим максимально возможные продолжительности транспортирования при низких температурах ОВ в теплоизоляционном контейнере таких труб до достижения на внешней поверхности труб температуры –10 °С. Расчеты проводились для полипропиленовых труб различного диаметра при толщине те-

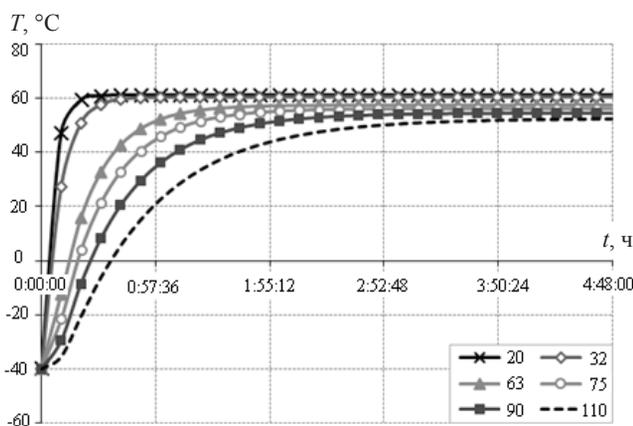


Рис. 2. Зависимости температур внешней стенки полипропиленовых труб PN 20 в теплоизоляционном контейнере от времени при подогреве нагретым до 80 °С воздухом при температуре ОВ –40 °С

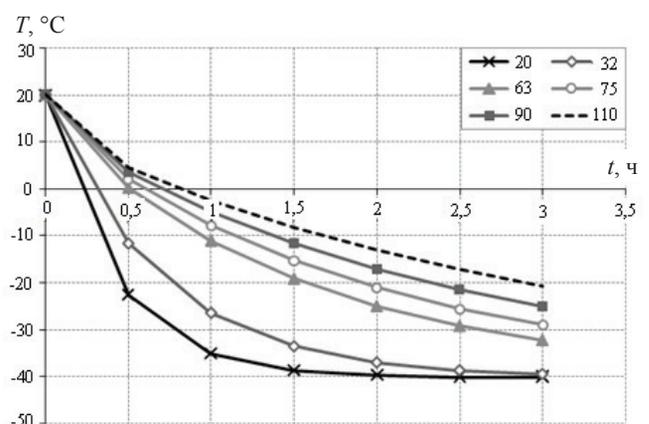


Рис. 3. Зависимости температур внешней стенки полипропиленовых труб PN 20 в теплоизоляционном контейнере от времени при транспортировке при температуре ОВ –40 °С

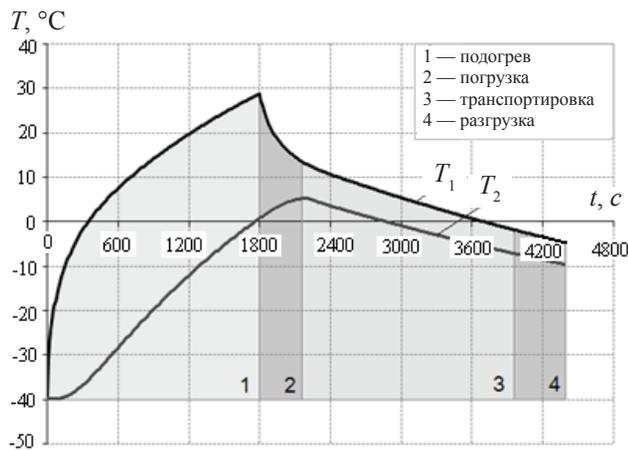


Рис. 4. Изменение температуры поверхностей трубы по времени: T_1 — на внутренней поверхности трубы, T_2 — на внешней поверхности трубы

The screenshot shows the DurHeatTrans software interface. Key input parameters include:

- Категория трубы: PN20, Диаметр трубы: 63
- Толщина теплоизоляции, мм: 24
- Диаметр патрубка, см: 10, Диаметр контейнера, см: 40
- Количество труб в контейнере: 32
- Температура стенки трубы перед подогревом: -40
- Температура наружного воздуха: -40
- Температура нагретого воздуха: 80
- Скорость подаваемого потока воздуха в входном патрубке, м/с: 25
- Скорость движения автотранспорта, км/ч: 40
- Начальное время подогрева, мин: 2
- Продолжительность погрузки, мин: 6
- Продолжительность транспортирования на открытом воздухе, мин: 30
- Продолжительность разгрузки, мин: 7
- Свойства теплоизоляционного материала контейнера:
 - Коэффициент теплопроводности: 0,0883
 - Удельная теплоемкость: 1900
 - Плотность: 25,39

 The result shown is: **Продолжительность подогрева нагретым воздухом равна: 30 мин**. A 'Расчет' button is visible at the bottom right.

Рис. 5. Исходные данные с результатом расчета продолжительности подогрева

плоизоляционного слоя контейнера 2,4 см и скорости движения транспортного средства со скоростью 40 км/ч. На рис. 3 представлены результаты расчетов изменения температуры внешней стенки полипропиленовых труб PN 20 различных диаметров (20, 32, 63, 75, 90, 110 мм) при транспортировании в условиях низких температур. Расчеты показывают, что трубы, хранившиеся в теплом помещении, можно перевозить в теплоизоляционном контейнере на достаточно большие расстояния.

Несмотря на то, что расчеты по определению продолжительности подогрева и по определению продолжительности охлаждения могут быть рассмотрены как две самостоятельные задачи, обобщим их для расчета про-

должительности подогрева, необходимой для погрузки, транспортирования и разгрузки при заданных затратах времени на их выполнение. Для повышения точности расчета продолжительности подогрева полипропиленовых труб различного сортамента в теплоизоляционном контейнере при низких температурах необходимо учитывать скорость потока нагретого воздуха труб в контейнере. При практической реализации подогрева труб в контейнерах удобнее измерять скорость потока воздуха во входном патрубке, диаметр которого $S_{пат}$ меньше диаметра контейнера $S_{конт}$. По скорости воздуха во входном патрубке можно приблизительно рассчитать скорость потока воздуха в контейнере. Для этого необходимо определить площадь $S_{прох}$ в поперечном сечении контейнера, через которую проходит воздух. Такая площадь может быть определена как разность площади поперечного сечения цилиндрического контейнера и суммы площадей поперечных сечений стенок (колец) всех труб. При укладке труб в контейнеры (в теплое время) необходимо на внешней поверхности контейнеров указать категорию укладываемых труб (PN 10 или PN 20), диаметр и количество труб. Тогда значение $S_{прох}$ легко вычисляется. Скорость потока воздуха в трубах в контейнере $V_{тр}$ по известной (измеренной) скорости потока воздуха во входном патрубке $V_{пат}$ определяется по формуле:

$$V_{тр} = \frac{S_{пат} V_{пат}}{S_{прох}}$$

Определение продолжительности подогрева, обеспечивающей на стенке труб температуру выше -10°C после выполнения погрузки, транспортирования и разгрузки сводится к расчету исходных данных в программе DurHeatTrans [4]. Продолжительность подогрева определяется последовательным увеличением ее значений от введенного начального значения с шагом 1 мин из условия обеспечения в конце разгрузки температуры на стенке трубы не ниже -10°C . На рис. 4 показана динамика температуры на стенке трубы при подогреве, транспортировании, погрузке и разгрузке, поясняющая определение продолжительности подогрева. Расчеты проводились при исходных данных, представленных на рис. 5. Необходимая продолжительность подогрева в условиях, характеризуемых заданным комплексом параметров, составит 30 мин.

На основании полученных результатов, можно сделать следующие выводы:

— расчетами установлено, что предлагаемым способом транспортирования с подогревом в теплоизоляционных контейнерах можно перевозить полипропиленовые трубы при температурах окружающего воздуха ниже нормативных на значительные расстояния в пределах населенных пунктов. При температуре ОВ -40°C подогрев полипропиленовых труб PN 20 диаметром 63 мм в течение 0,5 ч, обеспечивает возможность перевозки на расстояние 20 км;

— предлагаемая методика расчета продолжительности подогрева для погрузки, транспортирования и разгрузки при температурах окружающего воздуха ниже нормативного показала эффективность при различных комплексах исходных параметров и может быть рекомендована для практического использования.

Литература

1. Старостин Н. П., Васильева М. А. Расчетно-экспериментальное определение изменения температуры стенки при вынужденном движении воздуха внутри круглой трубы // Инженерно-физический журнал, 2013. Том 86, № 6. С. 1296–1300.
2. Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена. — М.: Атомиздат, 1979. 416 с.
3. Самарский А. А. Теория разностных схем. — М.: Наука, 1977. 656 с.
4. Старостин Н. П., Васильева М. А., Ботвин Г. В. Dur Heat Trans — Расчет продолжительности подогрева полипропиленовых труб для погрузки, транспортирования и разгрузки при низких температурах. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2015661105 по заявке № 2015617862 от 27.08.2015; Опубл. 20.11.2015, Бюл. № 11.

References

1. Starostin N. P., Vasil'eva M. A. Computational-experimental determination of wall temperature variation in the forced motion of air inside a circular pipe. *Inzhenerno-fizicheskij zhurnal*. 2013. Vol. 86. No. 6. S. 1296–1300. (in Russian)
2. Kutateladze S. S. Bases of the theory of heat exchange. Moscow, Atomizdat, 1979. 416 p. (in Russian)
3. Samarskii A. A. Theory of difference schemes. Moscow, Nauka, 1977. 656 p. (in Russian)
4. Starostin N. P., Vasil'eva M. A., Botvin G. B. DurHeatTrans — Calculation of duration of heating of the polypropylene pipes for loading, transportations and unloadings at low temperatures. Certificate of state registration of the computer programs No. 2015661105 by application No. 2015617862 from 27.08.2015; Publ. 20.11.2015, Bull. No. 11. (in Russian)

24-я международная выставка
продуктов питания, напитков
и сырья для их производства

ПРОВЕРЕННЫЕ РЕЦЕПТЫ
ДЛЯ УСПЕШНОГО БИЗНЕСА



6–10
февраля
2017

ПРОД
ЭКСПО

ТЕМАТИКА ВЫСТАВКИ:

- Мясо и мясопродукты. Колбасные изделия. Птица, яйцо.
- Молочная продукция. Сыры.
- Салон мороженого.
- Бакалея. Зернопродукты.
- Макароны изделия. Приправы, специи.
- Растительные жиры.
- Соки, воды. Безалкогольные напитки.
- Замороженные продукты. Полуфабрикаты. Готовые блюда.
- Кондитерская продукция. Снэки.
- Орехи, сухофрукты.
- Хлебопекарная продукция.
- Чай. Кофе.
- Рыба и морепродукты.
- Консервы. Соусы, кетчупы.
- Гастрономия. Продукты для ресторанов, деликатесы. Торговые дома.
- Оптово-распределительные центры.
- Спиртные напитки.
- Укупорка. Дизайн. Производство напитков.
- Выставка «ПРОДЭКСПОПАК».
- Салон оборудования и услуг.
- Экспозиции регионов России.
- Иностраные национальные экспозиции.
- Экобиосалон.
- Здоровое питание. Фермерские продукты.
- Детское питание.
- Овощи, фрукты, грибы.
- Мед и продукты пчеловодства.

Контакты:

Телефон: +7 (495) 609-40-52, (499) 795-41-24

Факс: +7 (495) 609-41-68

E-mail: galina@expocentr.ru, voronin@expocentr.ru, mezhvist@expocentr.ru

Адрес:

123100, г. Москва, Краснопресненская наб., 14
ЗАО «Экспоцентр», Дирекция выставок пищевой промышленности

Руководитель проекта:
Пискарева Татьяна Назаровна

 **ЭКСПОЦЕНТР**
МЕЖДУНАРОДНЫЕ ВЫСТАВКИ И КОНГРЕССЫ
МОСКВА

www.prod-expo.ru