

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Сафин Р.Р. Современные тенденции развития технологии сушки древесины // Вестник ТГУ, т.11. – 2006. N 4.
2. Кизина О.А., Адамович А.Л. Анализ современных методов и оборудования для сушки древесины // Вестник полоцкого государственного университета. Серия В. – 2011.
3. Морозов Г.А. Микроволновые технологии в промышленности и сельском хозяйстве: современные тенденции и новые подходы / Материалы научно-техн. Конф. - Казань 2000.
4. Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Галяветдинов Н.Р., Валиев Ф.Г. Разработка энергосберегающих технологий сушки древесины в жидкостях //
5. Проблемы энергетики. – 2008. - № 11-12.
6. Расеев А.И Сушка древесины: учебное пособие. - СПб.: Издательство «Лань», 2014.
7. Лыков А.В. Сушка древесины. - М., 1937. – 471 с.
8. Кузнецов Г.В., Шеремет М.А. Разностные методы решения задач теплопроводности Учебное пособие. Издательство ТПУ: Томск, 2007.
9. Рыкунин С.Н. Технология деревообработки. Учебник для образовательных учреждений начального профессионального образования / С. Н. Рыкунин, Л. Н. Кандалина. Москва, 2007. Сер. Федеральный комплект учебников (3-е изд., стер.)
10. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей. Том 1, Москва: «Мир», 1991.
11. Самарский А.А. Моисеенко Б.Д. Экономическая схема сквозного счета для многомерной задачи Стефана // Вычислительной математики и математической физики. – 1965. - №5.

## АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

В.А. Сергиенко  
Томский политехнический университет  
ЭНИН, ТПТ, гр.5БМ62

**Аннотация.** Представлены результаты математического моделирования тепловых режимов запорной арматуры тепловых сетей. Показано, что для запорной арматуры с относительно не большими условными проходами эквивалентную длину трубопровода можно сократить более чем в два раза.

**Ключевые слова:** запорная арматура, тепловые сети, тепловые потери  
Известно [1], что тепловые потери тепловой сети слагаются из линейных (тепловых потерь участков трубопровода, не имеющих арматуры и фасонных частей) и местных потерь тепловой энергии (тепловых потерь фасонных частей, запорной арматуры, опорных конструкций, фланцев и т.д.)

Тепловые потери отводов, гнутых компенсаторов и других деталей, периметр поперечного сечения которых близок к периметру трубопровода, подсчитываются по формулам для прямых труб круглого сечения [1], а тепловые потери фланцев, фасонных частей и арматуры определяются в эквивалентных длинах трубы того же диаметра по формуле [1]:

$$Q_m = ql_э, \quad (1)$$

где  $Q_m$  – местные тепловые потери, Вт;  $q$  – линейные тепловые потери, Вт/м;  $l_э$  – эквивалентная длина трубы, м.

Тепловые потери от неизолированного вентиля или задвижки принимаются равными тепловым потерям изолированного трубопровода длиной  $l_э = 12-24$  м того же диаметра [1]. Эквивалентную длину изолированного на 3/4 поверхности вентиля или задвижки в зависимости от диаметра трубопровода и температуры теплоносителя можно принимать равной 4-8 м изолированного трубопровода. Меньшие значения относятся к трубопроводу диаметром 100 мм и температуре теплоносителя 100 °С, большие – к трубопроводу диаметром 500 мм и температуре 400 °С. Эквивалентную длину неизолированного фланца можно принимать равной 4–5 м изолированного трубопровода [1].

Описанный выше подход к оценке местных тепловых потерь [1] носит эмпирический характер, основан на многолетней эксплуатации тепловых сетей, однако не имеет теоретического обоснования. Основная причина отсутствия теоретических исследований тепловых режимов арматуры и фасонных частей (фланцы, задвижки и др.) теплопроводов тепловых сетей заключается в достаточно сложной геометрии этих источников местных тепловых потерь.

Решить эту задачу можно с использованием современных подходов к моделированию тепловых режимов и тепловых потерь систем транспортировки тепла [2], основанных на численном моделировании физических процессов.

Целью данной работы является анализ тепловых потерь шаровых кранов, как одного из видов типичной запорной арматуры тепловых сетей.

В качестве примера рассматривается не изолированный шаровой кран фирмы Броен Балломас модельного ряда 62.102.000 (Интернет сайт ООО «БРОЕН», 2016, URL: <http://www.broen.ru/> (дата обращения: 21.04.2016)). На рисунке 1 приведено схематическое изображение рассматриваемого крана. Предполагается, что перенос тепла на внешних поверхностях крана осуществляется в условиях радиационного теплообмена и естественной конвекции, кран находится в открытом состоянии, а на внутренних поверхностях поддерживается постоянная температура, равная температуре теплоносителя.

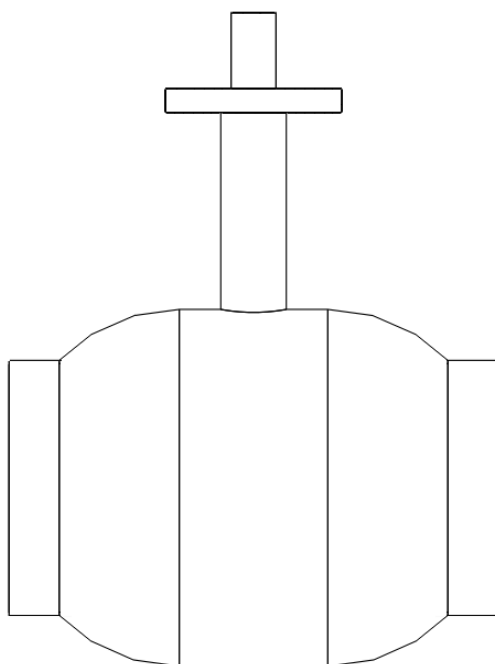


Рис. 1. Схематическое изображение шарового крана.

Для рассматриваемой области (рисунок 1) решается трехмерная стационарная задача теплопроводности в системе «шаровой кран – окружающая среда». Математическая модель для рассматриваемой задачи включает в себя уравнение теплопроводности для корпуса крана с соответствующими постановке задачи граничными условиями. Решение задачи получено с применением средств и функций пакета программ мультифизического моделирования COMSOL Multiphysics. Исследования проводились на неравномерной конечно-элементной сетке. Количество элементов выбиралось из условий сходимости решения.

Исследования проводились для шаровых кранов с диаметрами условного прохода 125, 250 и 500 мм. Краны изготовлены из стали ST 37, степень черноты поверхности принималась равной – 0.8. Температуры теплоносителя и окружающей среды составляли 100 °С и 25 °С соответственно. Среднее значение коэффициента теплоотдачи на внешней поверхности корпуса крана принималось равным – 5 Вт/(м<sup>2</sup>·°С).

Основные результаты численного исследования тепловых режимов и тепловых потерь рассматриваемых шаровых кранов приведены в таблице на рисунке 2.

Обоснованность и достоверность результатов исследований следует из проведенных проверок используемых методов на сходимость и устойчивость решений на множестве сеток, выполнения условий баланса энергии на границах области расчета. Относительная погрешность расчетов во всех вариантах численного анализа не превышала 0,1 %, что является приемлемым при оценке местных тепловых потерь в тепловых сетях.

В таблице в зависимости от диаметра условного прохода трубопровода приведены результаты численного расчета тепловых потерь от не изолированных шаровых кранов  $Q$ , местные тепловые потери  $Q_m$ , вычисленные по формуле (1), значения нормативных линейных тепловых потерь  $q$  [3], эквивалентные

длины труб  $l_3$ , выбранные на основе рекомендаций [1], эквивалентные длины труб  $l$ , рассчитанные в зависимости от  $Q$ , а так же представлено сопоставление  $Q$  и  $Q_m$  между собой.

Табл. 1. Результаты численного анализа

Условный проход трубопровода, мм	125	250	500
$Q$ , Вт	204.2	633.9	1894.6
$Q_m$ , Вт	456	855	1764
$q$ , Вт/м [3]	38	57	98
$l_3$ , м [1]	12	15	18
$l = \frac{Q}{q}$ , м	5.37	11.12	19.33
$\frac{ Q - Q_m }{Q} \cdot 100\%$	123.3	34.9	6.9

Результаты численного моделирования тепловых потерь от не изолированных шаровых кранов, приведенные в таблице, свидетельствуют о закономерном росте теплопотерь с увеличением диаметра условного прохода (увеличением площади поверхности) крана.

Сопоставление между собой результатов численного моделирования  $Q$  и местных тепловых потерь  $Q_m$  (таблица) позволяет сделать вывод о том, что расхождение между ними составляет от 6.9 % до 123.3 % в зависимости от величины условного прохода трубопровода. Это обстоятельство свидетельствует о возможности снижения расчетной эквивалентной длины трубопровода  $l_3$  для относительно не больших условных диаметров при проведении оценки местных тепловых потерь в тепловых сетях.

Пересчет эквивалентных длин трубопроводов  $l$  в соответствии с результатами численного моделирования (таблица) позволяет говорить о том, что для кранов с относительно не большими условными проходами  $l_3$  можно сократить более чем в два раза.

На рисунке 2, в качестве иллюстрации результатов моделирования, приведено типичное температурное поле шарового крана с диаметром условного прохода 500 мм для условий, рассматриваемых в данной работе.

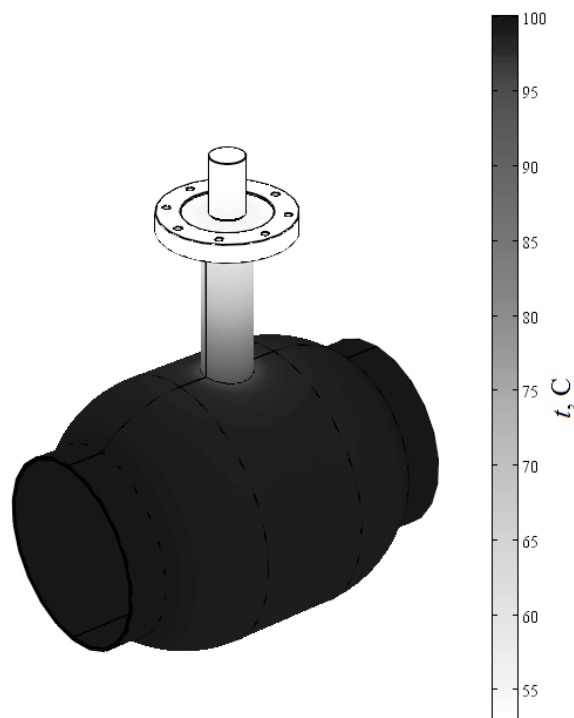


Рис. 2. Температурное поле шарового крана с диаметром условного прохода 500 мм.

Основные выводы по исследованию состоят в следующем:

На основании проведенного численного моделирования тепловых режимов типичной запорной арматуры тепловых сетей впервые теоретически установлены масштабы тепловых потерь шаровых кранов.

Показано, что для кранов с относительно не большими условными проходами эквивалентную длину трубопровода можно сократить более чем в два раза.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. – М.: Издательство МЭИ, 2006.
2. Половников В.Ю., Губанов Ю.Ю. Тепловые потери в бесканальных тепловых сетях в условиях эксплуатации // Электрические станции, 2014 - № 8. - С. 19-23.
3. СП 61.13330.2012. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. – М.: Минрегион России, 2012.

Научный руководитель: Половников В.Ю., к.т.н., доцент каф. ТПТ ЭНИН ТПУ.