

2. Для сбора разрушаемых частиц катода целесообразно применить гидроциклон.

3. Объединение электролиза морской воды и поджигания водородно-кислородной смеси в двигателе внутреннего сгорания создаёт новые возможности для движения морских судов.

4. Морскую воду как топливо можно применить в автомобильной и тракторной технике.

#### Литература.

1. Вращение треугольника Рёло в квадрате. Википедия.

2. Кравчук Л.Н., Синёв А.В., Раков Д.Л. Создание транспортных систем на воздушной

подушке. Проблемы машиностроения и автоматизации. 2011. № 1. С. 41-43.

3. Применение треугольника Рёло. Википедия.

4. Роторно-поршневой двигатель Ванкеля. Википедия.

5. А.Е.Тарас. Дизель-электрические подводные лодки 1950-2005гг.- М, 2006, Издатель: М.: АСТ, Мн.: Харвест

6. Терещук В.С., Ковалев А.А., Раков Д.Л., Синёв А.В., Соколовская Т.С. Способ и устройство получения водорода. Патент на изобретение № 2532561 от 20.09.2012.

7. М.В.Фомин. Планетарно-цевочные передачи. Из-во МГТУ им.Баумана, 2009.

---

## ОЦЕНКА ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ПРИ ДВИЖЕНИИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ТЕПЛОПРОВОДАХ

---

*Губарев Василий Яковлевич*

*К.т.н., профессор кафедры промышленной теплоэнергетики, Липецкий государственный технический университет, г. Липецк*

*Арзамасцев Алексей Геннадьевич*

*К.ф.-м.н., доцент, кафедры промышленной теплоэнергетики, Липецкий государственный технический университет, г. Липецк*

*Шарапов Алексей Иванович*

*К.т.н., доцент кафедры промышленной теплоэнергетики Липецкий государственный технический университет, г. Липецк*

#### АННОТАЦИЯ

С целью уточнения проведен анализ известной методики определения тепловых потерь по максимальной линейной плотности теплового потока при движении высокотемпературного теплоносителя в теплопроводе. На основе уравнений теплообмена получены уточняющие зависимости по расчету тепловых потерь в теплопроводе и введен критерий, значение которого определяет степень достоверности методики расчета по максимальной линейной плотности теплового потока. Проведен расчет тепловых потерь при течении горячей воды в изолированном и неизолированном трубопроводе системы теплоснабжения по рассмотренным выше зависимостям, выполнено сравнение полученных результатов.

#### ABSTRACT

For the purpose of clarification, an analysis is made of the known method for determining the heat loss from the maximum linear density of the heat flux during the motion of the high-temperature coolant in the heat conductor. On the basis of the heat exchange equations, clarifying dependences on the calculation of heat losses in the heat pipeline are obtained and a criterion is introduced, the value of which determines the degree of reliability of the calculation method for the maximum linear heat flux density. Calculation of the heat losses during the flow of hot water in the insulated and non-insulated pipeline of the heat supply system was carried out according to the dependencies considered above, and the results obtained are compared.

**Ключевые слова:** тепловые потери, температура теплоносителя, линейная плотность теплового потока.

**Keywords:** thermal losses, temperature of the heat carrier, linear density of heat flow.

#### Введение

При проектировании тепловых сетей важной задачей является определение потерь тепла в окружающую среду при движении теплоносителя от источника к потребителю. В СниП [4] приведена упрощенная методика расчета тепловых потерь по значению максимальной линейной плотности теплового потока, которая находится по таблицам. Применение данной методики позволяет получить достаточно точные результаты для изолированных теплопроводов, но может давать существенные погрешности для неизолированных или слабоизолированных протяженных трубопроводов. Современные трубопроводы при наземной прокладке

должны быть изолированы для снижения потерь тепла [6], однако при эксплуатации тепловых сетей может возникать ситуация, при которой некоторые участки трубопровода лишены тепловой изоляции [5]. Целью данной работы является уточнение потерь тепла при движении высокотемпературного теплоносителя в теплопроводах.

#### Расчет потерь тепла в теплопроводах

Рассмотрим теплообмен между движущимся в трубопроводе теплоносителем и окружающей средой.

Потери тепла при движении теплоносителя по теплопроводу определяются по формуле:

$$Q = G_T \cdot c_T \cdot (t_{\text{нач}} - t_{\text{кон}}) \quad (1)$$

где  $G_T$  – расход теплоносителя, кг/с;  $c_T$  – массовая теплоемкость теплоносителя, Дж/(кг·К);  $t_{\text{нач}}, t_{\text{кон}}$  – начальная и конечная температуры теплоносителя соответственно, °С.

С другой стороны, тепло в окружающую среду передается посредством теплопередачи.

В этом случае тепловые потери определяются из выражения [1]:

$$Q = k_l \cdot l \cdot \frac{(t_{\text{нач}} - t_{\text{о.с.}}) - (t_{\text{кон}} - t_{\text{о.с.}})}{\ln\left(\frac{t_{\text{нач}} - t_{\text{о.с.}}}{t_{\text{кон}} - t_{\text{о.с.}}}\right)} \quad (2)$$

где  $k_l$  – линейный коэффициент теплопередачи, Вт/(м·К);  $t_{\text{о.с.}}$  – температура окружающей среды, °С;  $l$  – длина участка теплопровода, м.

Приравняв выражения (1) и (2), получим:

$$\ln\left(\frac{t_{\text{нач}} - t_{\text{о.с.}}}{t_{\text{кон}} - t_{\text{о.с.}}}\right) = \frac{k_l \cdot l}{G_T \cdot c_T} \quad (3)$$

Тогда конечная температура теплоносителя будет находиться по формуле:

$$t_{\text{кон}} = t_{\text{о.с.}} + (t_{\text{нач}} - t_{\text{о.с.}}) \cdot e^{-\frac{k_l \cdot l}{G_T \cdot c_T}} \quad (4)$$

Введем критерий:

$$\chi = \frac{k_l \cdot l}{G_T \cdot c_T} \quad (5)$$

Тогда потери тепла будут равны:

$$Q = G_T \cdot c_T \cdot (t_{\text{нач}} - t_{\text{кон}}) = k_l \cdot l \cdot (t_{\text{нач}} - t_{\text{о.с.}}) \cdot (1 - e^{-\chi}) \quad (6)$$

Таким образом, тепловые потери в общем случае определяются значением критерия  $\chi$ .

При  $\chi \approx 0,2$  можно с точностью около 10% считать, что:

$$e^{-\chi} \approx 1 - \chi \quad (7)$$

В этом случае выражение (4) можно преобразовать:

$$t_{\text{кон}} = t_{\text{ок.ср}} + (t_{\text{нач}} - t_{\text{ок.ср}}) \cdot (1 - \chi) \quad (8)$$

Тогда потери тепла будут равны:

$$Q = G_T \cdot c_T \cdot (t_{\text{нач}} - t_{\text{кон}}) = k_l \cdot l \cdot (t_{\text{нач}} - t_{\text{о.с.}}) \quad (9)$$

Максимальная плотность линейного теплового потока соответствует тепловому потоку при температуре в начале теплопровода:

$$q_{l,\text{max}} = k_l \cdot (t_{\text{нач}} - t_{\text{о.с.}}) \quad (10)$$

Таким образом, потери тепла в этом случае будут равны:

$$Q = q_{l,\text{max}} \cdot l \quad (11)$$

Из (11) следует, что при малых значениях критерия  $\chi$  тепловые потери линейно зависят от длины участка теплопровода.

Таким образом, расчет потерь тепла по максимальному значению линейной плотности теплового потока можно вести при относительно небольших значениях комплекса  $\chi$ , что характерно для относительно коротких трубопроводов или при высоком термическом сопротивлении изоляционного слоя. Для протяженных слабо изолированных или неизолированных трубопроводов с низкой теплоемкостью и расходом теплоносителя расчет теплотерь необходимо вести по формуле (6).

### Оценка потерь тепла при движении воды в трубопроводе

Рассмотрим потери тепла при течении горячей воды в подающем трубопроводе системы теплоснабжения. Регулирование тепловой нагрузки качественное. Скорость течения воды 0,7 м/с. Внутренний диаметр трубопровода принимаем 200 мм. Расчет проводится для максимальных потерь тепла. В качестве начальной температуры воды принимаем температуру 150°С, температура окружающей среды принимается равной температуре самой холодной пятидневки г.Липецка (-27°С) [3]. При определении линейного коэффициента теплопередачи термическим сопротивлением теплоотдачи внутри трубопровода и термическим сопротивлением стальной стенки пренебрегаем.

Для неизолированного трубопровода линейный коэффициент теплопередачи определяется теплоотдачей с поверхности трубопровода в окружающую среду [2]:

$$k_l = \pi \cdot d_{\text{нар}} \cdot \alpha \quad (12)$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $d_{\text{нар}}$  – наружный диаметр трубопровода, м.

Для определения теплотерь изолированного трубопровода примем коэффициент эффективности изоляции (отношение разницы теплотерь при применении изоляции и неизолированного трубопровода к тепловому потоку при отсутствии изоляции) равным 0,15.

Тогда линейный коэффициент теплопередачи при наличии изоляционного слоя будет равен:

$$k_l = \pi \cdot d_{\text{нар}} \cdot \alpha \cdot \eta_{\text{из}} \quad (13)$$

где  $\eta_{\text{из}}$  – коэффициент эффективности изоляции.

На рис. 1-2 изображены зависимости разницы начальной и конечной температур теплоносителя от длины трубопровода при наличии и отсутствии изоляции.

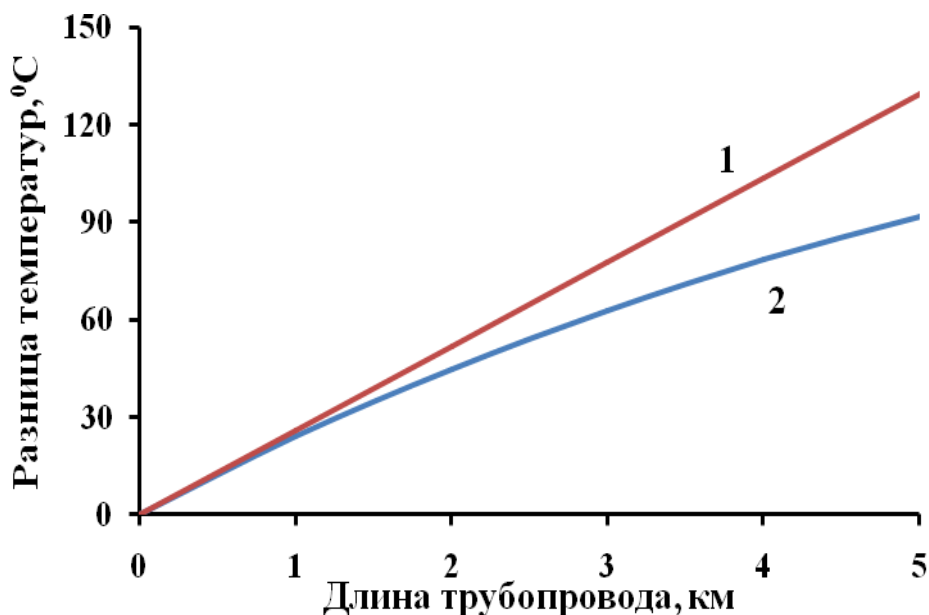


Рисунок 1. Зависимость разницы начальной и конечной температуры теплоносителя от длины неизолированного трубопровода: 1 – при расчете по максимальной линейной плотности теплового потока; 2 – при расчете по формуле (6).

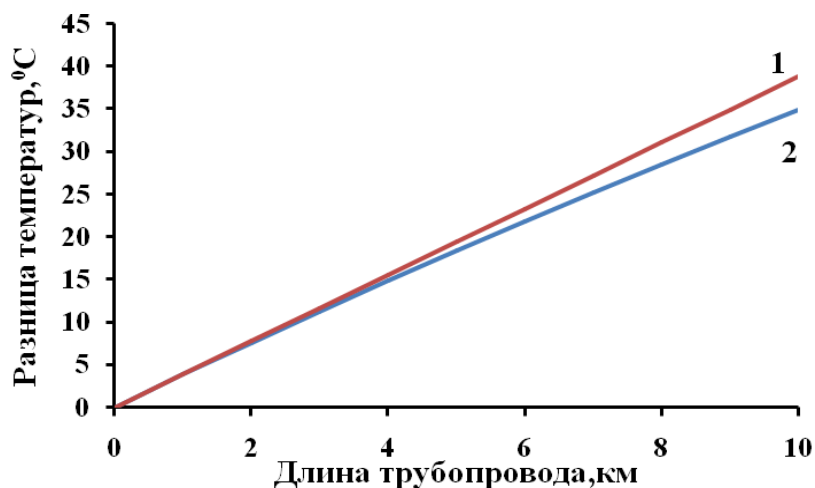


Рисунок 2. Зависимость разницы начальной и конечной температуры теплоносителя от длины изолированного трубопровода: 1 – при расчете по максимальной линейной плотности теплового потока; 2 – при расчете по формуле (6).

Анализируя результаты расчетов, можно сделать вывод о незначительной разнице начальной и конечной температур теплоносителя при расчете по линейной методике и формуле (6). Для неизолированного протяженного трубопровода разница при расчете по сравниваемым формулам довольно существенна.

**Выводы:** введен безразмерный критерий, позволяющий выбрать зависимость по расчету тепловых потерь: при его значении, меньшем 0,2, теплотери можно рассчитывать по максимальной линейной плотности теплового потока, при больших значениях критерия тепловые потери зависят от значения данного критерия. При течении горячей воды в трубопроводе системы теплоснабжения для изолированного трубопровода можно рассчитывать теплотери по линейной зависимости, для

неизолированного трубопровода расчет ведется по формуле (6).

#### Список литературы:

1. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. М: Энергоиздат, 1981. – 415 с.
2. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача. М: Высшая школа, 1990. – 469 с.
3. СНиП 23-01-99. Строительная климатология. М., 2003. – 109 с.
4. СНиП 2.04.14-88. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. М: ЦИТП Госстроя СССР, 1998. – 28 с.
5. Соколов Е.Я. Современное состояние и основные проблемы теплофикации и центрального теплоснабжения // Теплоэнергетика, 1988 №3. – С.2–6.
6. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. М: МЭИ, 2009. – 472 с.