

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТИЧЕСКИХ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ В ВОДЯНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ

Насирдинова Сайрагуль Мухамбетовна, к.т.н., доцент кафедры Теплоэнергетика, КГТУ им. И. Раззакова (+996)545183, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Ч.Айтматова 66, e-mail: sai-ra@mail.ru, orcid.org: 0000-0003-4712-8549

Саньков Вячеслав Иванович, к.т.н., проф. кафедры Теплоэнергетика, КГТУ им. И. Раззакова (+996) 545183, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Ч.Айтматова 66, e-mail: sancovskaya@gmail.com

Стамбекова Гүлзада Анаркуловна, преподаватель кафедры «Теплоэнергетика», (+996)545183, КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова 66, e-mail: stambekova80@mail.ru, orcid.org: 0000-0003-2757-5632

Развитие теплофикации и централизованного теплоснабжения в г.Фрунзе, республики Кыргызстан до распада СССР происходило планомерно, и являлось одним из основных способов рационального энергосбережения, а также путей снижения удельных расходов топлива на выработку электроэнергии.

Развитие промышленности и жилых микрорайонов потребовало строительства магистральных и распределительных тепловых сетей в городе для обеспечения их тепловой энергией в виде горячего водоснабжения и производственного пара. Это стало возможно с расширением ТЭЦ города.

Теплопроводы проектировались на максимально возможные расходы горячей воды, которые должны были обеспечить все потребности теплофикации жилого сектора и предприятий, с учетом перспективы их развития.

Конструкции магистральных и распределительных теплопроводов и тепловая изоляция вполне удовлетворяла нормам и правилам эксплуатации водяных тепловых сетей, т.к. расходы теплоносителя были максимальными.

Причиной возрастания тепловых потерь в магистральных и распределительных теплопроводах стало ухудшение состояний тепловой изоляции, сокращение теплопотребления производственных предприятий, в связи с их закрытием.

Снижение расходов воды в магистралях и распределительных теплопроводах за счет уменьшения теплопотребления промышленных предприятий естественно вносит существенный вклад в увеличение удельных потерь тепла за счет наружного охлаждения, но при разветвленной сети за параллельных теплопроводов выделить такой вклад и выполнить тепловые испытания по определению таких потерь тепла для всей тепловой сети практически невозможно.

После изучения схемы теплоснабжения ОАО БТС было вынесено решение о выделении участка магистрального теплопровода ЗПЗ ТЭЦ – НС9 для проведения тепловых испытаний с целью определения реальных потерь тепла за счет наружного охлаждения.

В настоящей статье рассматриваются результаты испытаний определения фактических тепловых потерь горячей воды магистральными теплопроводами.

Ключевые слова: магистральные теплопроводы, режимы работы, тепловые потери, учет расхода тепла и воды, транспорт тепла, эффективность, экономия тепла.

DETERMINATION OF ACTUAL THERMAL LOSSES IN WATER THERMAL NETWORK

Nasirdinova Sairagul Muhambetovna, Ph.D., associate professor, the department of "Thermal Engineering", KSTU them I. Razzakova, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek city, st. Ch. Aitmatova 66, e-mail: sai-ra@mail.ru, orcid.org: 0000-0003-4712-8549

Sankov Vyacheslav Ivanovich, Ph.D., professor, the department of "Thermal Engineering", KSTU them I. Razzakova, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek city, st. Ch. Aitmatova 66, e-mail: sancovskaya@gmail.com

Stambekova Gulzada Anarkulovna, teacher the department of "Thermal Engineering", KSTU them I. Razzakova, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek city, st. Ch. Aitmatova 66, e-mail: stambekova80@mail.ru, orcid.org: 0000-0003-2757-5632

The development of district heating and centralized heat supply in the city of Frunze, the Republic of Kyrgyzstan before the collapse of the USSR took place systematically, and was one of the main ways of rational energy conservation, as well as ways to reduce specific fuel consumption for electricity generation.

The development of industry and residential neighborhoods required the construction of trunk and distribution heating networks in the city to provide them with thermal energy in the form of hot water supply and industrial steam. This became possible with the expansion of the CHP of the city.

Heat pipelines were designed for the maximum possible costs of hot water, which were to provide all the needs of the heating sector of the residential sector and enterprises, taking into account the prospects for their development. The designs of trunk and distribution heat pipelines and thermal insulation fully met the norms and rules of operation of water heating networks, since coolant costs were maximum.

The reason for the increase in heat losses in the main and distribution heat pipelines was the deterioration of thermal insulation, reduction of heat consumption of production enterprises, due to their closure.

Reducing water consumption in highways and distribution heating lines by reducing the heat consumption of industrial enterprises naturally makes a significant contribution to the increase in specific heat losses due to external cooling, but with an extensive network, parallel inputs make such a contribution and perform thermal tests to determine such heat losses for the entire heat source. network is almost impossible.

After studying the heat supply scheme of BTS OJSC, a decision was made to allocate a section of the main heat pipe ZPZ CHPP – NS9 to conduct thermal tests in order to determine the actual heat loss due to external cooling. This article discusses the results of tests for determining the actual heat loss of hot water by main heat pipelines.

Key words: trunk heat pipelines, operation modes, heat losses, heat and water consumption, heat transport, efficiency, heat savings.

Объектами исследования являются магистральные и распределительные теплопроводы горячей воды ОАО “БТС” в условиях нестационарного режима их работы, а также режимы горячего водоснабжения и системы учета расхода горячей воды и потери тепла в теплопроводах.

Целью работы является определение фактических тепловых потерь магистральными теплопроводами путем проведения испытаний на выделенном участке нетрадиционными методами, оценка фактических потерь в сравнении с нормами, выдача рекомендаций по повышению эффективности транспорта тепла.

Действующие теплопроводы ОАО БТС проектировались на максимально возможные расходы горячей воды, которые должны были обеспечить все потребности теплофикации жилого сектора и предприятий, с учетом перспективы их развития.

По мере сворачивания многих производственных предприятий сократилось теплопотребление предприятий, ухудшилось состояние тепловой изоляции, обусловленное ее старением, это привело к возрастанию относительных потерь тепла в магистральных и распределительных теплопроводах. При снижении расхода транспортирующего тепло агента с определенной температурой отвод тепла за счет наружного охлаждения трубопроводов обратно пропорционален расходу этого тепло агента, изменение энтальпии и температуры возрастает, а также увеличиваются относительные потери тепла.

При разветвленной сети за параллельных теплопроводов выделить такой вклад и выполнить тепловые испытания по определению таких потерь тепла для всей тепловой сети практически невозможно.

Для проведения тепловых испытаний с целью определения реальных потерь тепла за счет наружного охлаждения был выделен участок магистральных теплопроводов ЗПЗ ТЭЦ-НС9.

Принципиальная схема магистрального водяного теплопровода приведена на рис. 1.

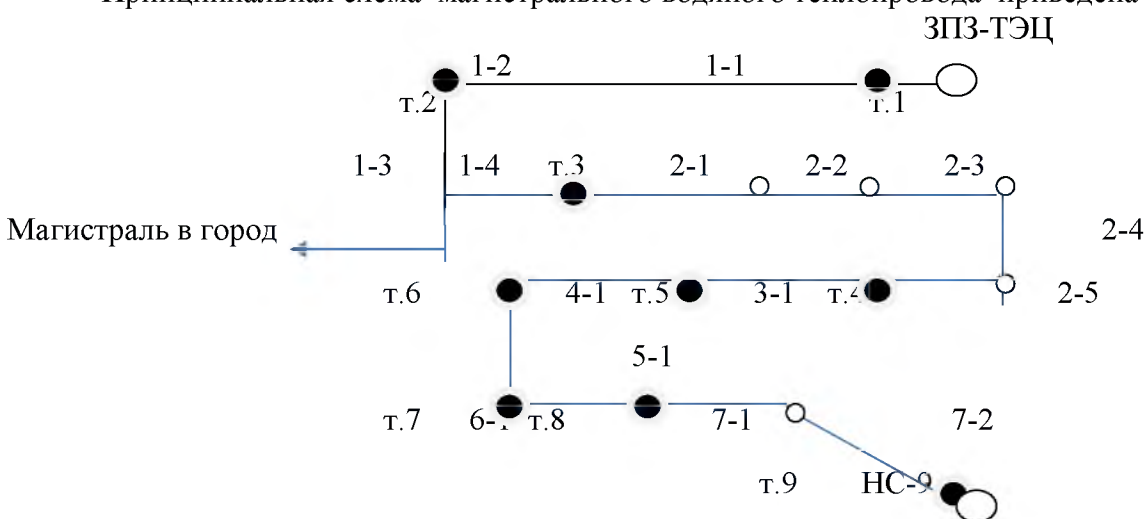


Рис.1. Принципиальная схема магистрального теплопровода

Участок 1 состоит из отрезков 1-1, 1-2, 1-3, 1-4. $L=311\text{м}$; $\varnothing 900\text{мм}$

Участок 2 состоит из отрезков 2-1, 2-2, 2-3, 2-4, 2-5 $L = 615,3\text{м}$; $\varnothing 1000\text{мм}$

Участок 3 состоит из отрезка 3-1. $L = 94,6\text{м}$; $\varnothing 500\text{мм}$

Участок 4 состоит из отрезка 4-1. $L = 645\text{м}$; $\varnothing 700\text{мм}$

Участок 5 состоит из отрезка 5-1. $L = 240\text{м}$; $\varnothing 500\text{мм}$

Участок 6 состоит из отрезка 6-1. $L = 304\text{м}$; $\varnothing 500\text{мм}$

Участок 7 состоит из отрезков 7-1, 7-2. $L = 500\text{м}$; $\varnothing 70\text{мм}$

Условные обозначения на принципиальной схеме:

- «Т.-цифра»- точки, в которых установлены гильзы для ртутных термометров, используемых для измерений температуры воды при испытаниях;
- « Т.1» (исходная) – установлена на узле учета ТЭЦ ЗПЗ (Запад-3) рядом измерительной диафрагмой расходомера с термометрами сопротивления для измерения давления и температуры воды;
- « Т.9» - установлена на узле учета насосной НС-9 .

Методика проведения испытаний теплопровода на тепло потери заключается в следующем. Перед проведением испытаний выполняются все требования, предусмотренные нормативными документами [1-4].

Измерительная аппаратура должна быть установлена в точках на входе (ЗПЗ-ТЭЦ) и выходе теплопровода (НС-9). Измерениям подлежат: температура окружающего воздуха (t_0 , °С); барометрическое давление (P_6 , мм.рт.ст); параметры воды в начале и конце участков (Т1÷Т9); температура воды в местах установки термометров (t_w , °С); расход воды в начале (ЗПЗ-ТЭЦ) и конце теплопровода (НС-9); давление воды в начале и конце магистрального теплопровода. В течении всего эксперимента (6 часов) во всех точках одновременно через каждые 15 мин. Измеряются температура, расход, давление.

Испытания проводились в существующем режиме работы выделенного участка магистрали. На узлах учета ЗПЗ ТЭЦ и НС-9 фиксировались расходы, давления, температуры воды и потоки тепла, с помощью штатных комплектов приборов типа СКАД и СПТ-961.

Результаты измерений приборов с периодичностью в 1 час передавались на центральный диспетчерский пункт и хранились в памяти компьютера. По всей магистрали в точках «Т. №» (см.рис. 1) фиксировались мгновенные значения температуры воды по ртутным термометром ТЛ-4 с ценой деления $0,1^\circ\text{C}$.

После проверки согласованности всех измеренных параметров разными приборами учета определение удельных тепловых потерь выполнялось двумя методами:

- 1- методом температурной волны;
- 2- методом, основанным на теории подобия.

1. Метод температурной волны заключается в следующем:

По известным температуре T (°С) и давлению P (кг/ см²) определена плотность воды ρ (кг/ м³). Для определения плотности использованы таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара [5].

Скорость течения воды в трубопроводах определялась из условия неразрывности струи по уравнению:

$$W=M/F\cdot\rho \quad (1)$$

где W – скорость течения воды, м/с; M – расход воды, кг/с;

F – площадь поперечного сечения трубопровода, м²; ρ – плотность воды, кг/м³.

Время течения воды на каждом участке определялось по уравнению

$$\tau = \ell / W \quad (2)$$

где τ – время течения воды, м/с; ℓ - длина испытываемого участка, м.

По результатам расчета времени течения воды на каждом испытываемом участке, определялось время запаздывания течения воды от начальной точки 1 ТЭЦ последовательно

в каждой исследованной точке теплотрассы до конечной точки 9 (НС-9) как сумма времени течения воды на каждом участке:

$$\Delta\tau = \sum_{i=0}^n \tau_i \quad (3)$$

Определяется разность температур на каждом участке Δt .

Удельные потери тепла на исследуемых участках определялись по формуле:

$$q = Q/(L(1+\beta)), \text{ кВт/м} \quad (4)$$

где Q – тепловые потери на соответствующем участке, кВт

L – длина участка, м; $\beta = 0,25$ – коэффициент местных тепловых потерь.

Тепловые потери определены по формуле:

$$Q = M \cdot C_p \cdot \Delta t \quad (5)$$

где M – среднеинтегральный массовый расход воды, кг/с;

C_p – удельная массовая изобарная теплоемкость воды равная 4,19 кДж/кг·К

Δt – разность температур в соответствующих точках, °С

Коэффициент превышения фактических удельных тепловых потерь определяется по формуле:

$$K = q_{\text{фак}}/q_{\text{норм}} \quad (6)$$

где $q_{\text{фак}}$ – фактические удельные тепловые потери, Вт/м;

$q_{\text{норм}}$ – нормативные удельные тепловые потери принятые по [1], Вт/м.

2. Метод, основанный на теории подобия [6].

Метод заключается в использовании теории подобия и определения тепловых потерь по закону Ньютона-Рихмана:

$$q_c = \frac{\pi(t_{\text{из}} - t_{\text{ос}})}{\frac{1}{\alpha d_{\text{из}}}}, \text{ Вт/м} \quad (7)$$

где $t_{\text{из}}$, $t_{\text{ос}}$ – соответственно температуры изоляции и окружающей среды, °С

α – коэффициент теплоотдачи, Вт/м·К; $d_{\text{из}}$ – диаметр изоляции, м.

Коэффициент теплоотдачи определяют из уравнения: $\alpha_k = N_u \cdot \lambda_{\text{ж}} / d_{\text{из}}$ (8)

где $\lambda_{\text{ж}}$ – коэффициент теплопроводности теплоносителя, Вт/м·К

Критерий Нуссельта для свободной конвекции определяют по уравнению

$$N_u = C(G_{\text{Гж}} \cdot P_{\text{Гж}})^n \quad (9)$$

Критерий Грасгофа: $G_{\text{Гж}} = \frac{g \cdot \beta (t_{\text{из}} - t_{\text{ос}}) d_{\text{из}}^2}{\nu^2}$ (10)

где ν – кинематическая вязкость; g – ускорения свободного падения;

β – температурный коэффициент объемного расширения для газа

$$\beta = \frac{1}{t_{\text{ж}} + 273}, \frac{1}{\text{К}} \quad (11)$$

Критерий Прандтля $P_{\text{Гж}}$, $\lambda_{\text{ж}}$, $\nu_{\text{ж}}$ – определяются по определяющей температуре [6]; C и n – постоянные зависимости от режима течения жидкости.

Коэффициент теплоотдачи излучением:

$$\alpha_l = \varepsilon \cdot C_0 10^{-8} [T_{\text{из}}^4 - T_{\text{ос}}^4] / (T_{\text{из}} - T_{\text{ос}}) \quad (12)$$

где ε – степень черноты системы;

$C_0 = 5,7 \text{ Вт/ (м}^2 \text{К}^4)$ – коэффициент излучения абсолютно черного тела.

Таким образом, зная диаметр изоляции и измерив температуры окружающего воздуха и изоляции можно определить мгновенные значения линейной плотности теплового потока.

По результатам расчетов выполненных двумя методами средняя относительная погрешность коэффициента превышения удельных тепловых потерь для всей теплотрассы составляет 1,6% ($K_{1\text{ср}} = 1,985$, $K_{2\text{ср}} = 1,954$) [7].

Превышение удельных тепловых потерь на отдельных участках приведено на диаграмме 1.

Выводы по результатам исследований. Обновление тепловой изоляции выделенного участка магистрального трубопровода ЗПЗ ТЭЦ НС-9 для проведения тепловых испытаний с целью определения тепловых потерь за счет наружного охлаждения по данным ОАО БТС

выполнено в 1996 г. Срок эксплуатации тепловой изоляции на момент испытаний составил 19 лет.

Возникает вопрос об оценке старения тепловой изоляции и определения коэффициента ежегодного превышения тепловых потерь по сравнению с нормативными потерями. Если принять коэффициент превышения тепловых потерь равным единице в год ввода тепловой изоляции в эксплуатацию, то ежегодное превышение коэффициента тепловых потерь может быть определено по уравнению:

$$K_{\phi} = K_{в} + \Delta K \cdot n \quad (13)$$

где K_{ϕ} – фактический коэффициент превышения нормативных потерь;

$K_{в} = 1$ – коэффициент превышения нормативных потерь в год ввода тепловой изоляции в эксплуатацию;

ΔK – ежегодное приращение коэффициента превышения нормативных потерь;

n – время эксплуатации тепловой изоляции (лет).

По результатам исследований получены следующие значения ежегодных приращений.

$$\Delta K_{1\text{ср}} = \frac{1,985-1}{19} = 0,0518; \quad \Delta K_{2\text{ср}} = \frac{1,954-1}{19} = 0,0502$$

$$\Delta K_{(1-2)\text{ср}} = \frac{0,0518-0,0502}{2} = 0,0008$$

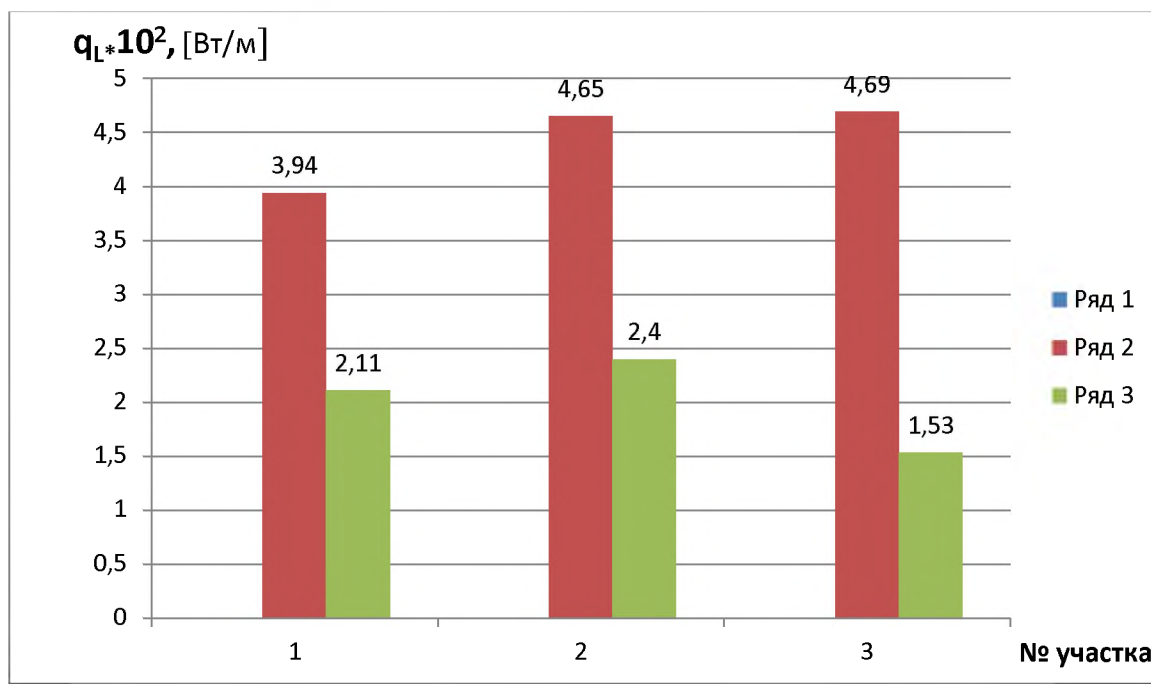


Диаграмма 1. Сравнение фактических и нормативных удельных тепловых потерь на отдельных участках тепловой магистрали на участках 1-3

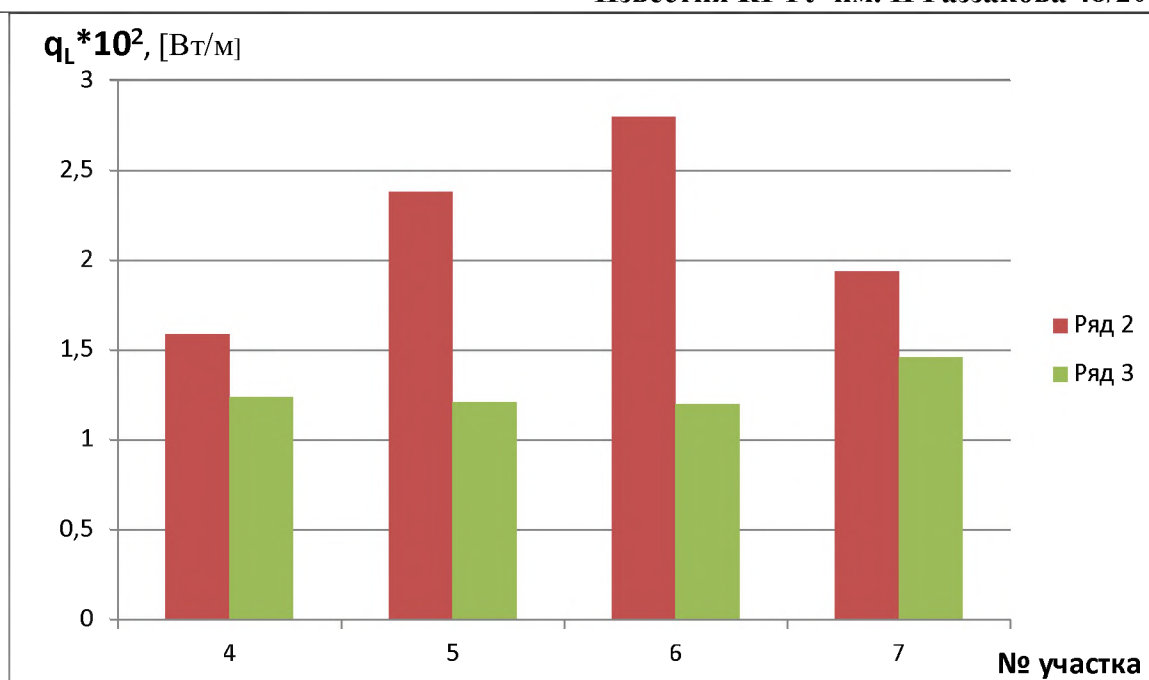


Диаграмма 2. Сравнение фактических и нормативных удельных тепловых потерь на отдельных участках тепловой магистрали на участках 4-7

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнены исследования по определению фактических тепловых потерь магистральными и распределительными водяными теплопроводами в условиях нестационарной их работы. Расчеты выполнены двумя методами.

При испытании были выявлены следующие особенности на выделенном участке теплопроводов:

1. Вследствие пульсации расхода горячей воды связанных с неравномерностью теплового потребления в системе теплоснабжения вероятнее всего возрастание погрешностей расходомеров переменного перепада давления.
2. В процессе испытаний в т. НС-9 расходомеры работали в области заниженных расходов.
3. На теплопроводе наблюдается частичное повреждение и провисание тепловой изоляции, что приводит к дополнительным потерям тепловой энергии в окружающую среду.

Рекомендация: 1. Для более точного измерения потребляемого расхода воды и тепловой энергии необходимо в т. НС -9 заменить сужающее устройство, рассчитанное на минимальный расход воды 240 т/ч на сужающее устройство соответствующее минимальным расходам в летний период, так как в процессе испытаний расход воды составлял 40-50- т/ч.

При данных расходах тепло вычислители по расходу воды и тепловой энергии попадают в область ненормируемой погрешности, оценка которых не представляется возможным.

1. Тепловая изоляция на всем участке теплотрассы требует усиления.
2. Результаты рассчитанных фактических потерь тепловой энергии и коэффициенты превышения, могут быть рекомендованы для оценки потерь тепловой энергии для аналогичных способов прокладки трубопроводов и типов тепловой изоляции водяных тепловых сетей ОАО БТС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методические указания по определению тепловых потерь в водяных тепловых сетях. РД 34.09 255-97. СПО ОРГРЭС, Москва, 1998г.

Известия КГТУ им. И.Раззакова 48/2019

2. Методические указания по определению тепловых потерь в водяных и паровых тепловых сетях. МУ 34-70-080-84. М., ОРГРЭС.1985г.

3. Правила учета тепловой энергии и теплоносителя. Утверждены постановлением Правительства Кыргызской Республики от 12 января 2012 г. №26.

4. Методические указания по определению тепловых потерь в водяных и паровых тепловых сетях МУ 34-70-080-84. М., Изд. Союзтехэнерго ГТУ Минэнерго СССР. 1985г. – 70с.

5. Ривкин С.Л., Александров А.А. «Теплофизические свойства воды и водяного пара». М. Энергия – 1980. - 424с.

6. Михеев А.М., Михеева М.М. Основы теплопередачи М. издательство «Энергия» 1976 г, 312 стр.

7. Определение потерь магистральными и распределительными паровыми и водяными тепловыми сетями «БТС» в условиях нестационарного режима их работы путем испытаний. Т.2. Водяные тепловые сети. Бишкек 2014, 82с. Отчет НИР.