

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 4 (2020)

Павлодар

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и
теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.

к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD, доцент*

Ответственный секретарь

Приходько Е. В., *к.т.н., профессор*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Россия)</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов Т. А.,	<i>к.т.н., доцент (Россия)</i>
Оспанова Н. Н.,	<i>к.п.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD, доцент</i>
Шокубаева З. Ж.	<i>технический редактор</i>

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

<https://doi.org/10.48081/EWQG1235>

**Е. В. Оришевская¹, Е. В. Приходько², А. Б. Бояндинова³,
Е. А. Пешеходова⁴, Г. А. Айтмагамбетова⁵**

^{1,2,4,5}Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар;

³АО «Евроазиатская энергетическая корпорация»,
Республика Казахстан, г. Аксу

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ФАКТОРОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В статье производится анализ изменения коэффициента теплопроводности волокнистых теплоизоляционных материалов тепловых сетей в зависимости от влияния на них эксплуатационных факторов.

Для анализа был выбран участок тепловой сети с неудовлетворительным состоянием тепловой изоляции, но находящийся в эксплуатации. Были проведены замеры коэффициента теплопроводности изоляции различных участков трубопровода, а также новой минеральной ваты.

На основании полученных данных об изменении коэффициента теплопроводности и толщины минеральной ваты был произведён расчёт действительных тепловых потерь с поверхности тепловой сети. Расчёты показали, что при эксплуатации идёт превышение тепловых потерь для подающего трубопровода в 7,8 раза и в 6,1 раз – для обратного.

Ключевые слова: тепловые потери, тепловая изоляция, тепловые сети.

Введение

Тепловые сети являются одним из основных элементов систем централизованного теплоснабжения. Эксплуатация тепловых сетей в значительной степени определяется надежным и экономичным функционированием систем теплоснабжения в промышленности и ЖКХ.

На данный момент на рынке строительных материалов представлен большой перечень трубной тепловой изоляции отечественного и зарубежного производства. Но при всем многообразии выбора, зачастую, довольно сложно оптимально подобрать материал тепловой изоляции, обеспечивающий максимальную защиту от теплопотерь. Как правило, проектировщики вносят в проект ту изоляцию, которую выбирают и рекомендуют производители или заказчик. Поэтому, их выбор не основан на расчетных данных. В этом заключается причина неграмотного применения тепловой изоляции систем теплоснабжения. К тому же отсутствуют четкие указания по выбору в нормативной литературе [1–5].

Воздействие условий эксплуатации также нашло своё отражение в литературе. Так, результаты исследований показали, что тепловые потери трубопровода, изолированного базальтовой ватой, даже при его полном высыхании после затопления возросли по сравнению с соответствующим параметром для сухого материала теплоизолятора. После третьего цикла увлажнения-высыхания тепловые потери увеличились в 1,3 раза по сравнению с сухим материалом и при дальнейшем увеличении числа циклов не изменялись [6–8].

Материалы и методы

Материалы – волокнистые теплоизоляционные материалы (минеральная вата). Приборы – измеритель теплопроводности ИТП МГ4.

Фундаментальные положения теории теплопроводности математики, определение коэффициента теплоотдачи и тепловых потерь, натурный эксперимент.

Результаты и обсуждения

Теплопроводность теплоизоляционных материалов на действующих тепловых сетях зачастую не соответствует паспортной. Это, как правило, связано с двумя основными причинами:

- во-первых, это нарушение технологии монтажа, т.е. сжатие слоя теплоизоляции, тем самым увеличение его плотности и теплопроводности;
- во-вторых, нарушение условий эксплуатации. При эксплуатации в реальных условиях часто возникают моменты нарушения внешнего (защитного) слоя, что приводит к свободному доступу внешней среды (осадкам, песку и др.) к теплоизоляции.

И первая, и вторая причина приводят к снижению теплопроводности теплоизоляции. Во втором случае, кроме снижения теплопроводности, наблюдается разрушение самого слоя теплоизоляции.

Увеличение коэффициента теплопроводности волокнистой теплоизоляции вследствие сжатия для ряда материалов подробно описано в работе [9, 10]. Показано, что сжатие минеральной ваты на 50 % вызывает увеличение

коэффициента теплопроводности с $0,09 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ до $0,12 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$, т.е. на 33 %, что в конечном итоге приводит к росту тепловых потерь в 1,26 раза.

Для анализа изменения коэффициента теплопроводности изоляционных материалов тепловых сетей в зависимости от факторов эксплуатации был выбран участок теплового сети с неудовлетворительным состоянием. То есть на значительной части трубопровода находился слой изоляции без защитного слоя, что позволяло в течении ряда лет внешним факторам воздействовать на волокнистый теплоизоляционный слой.

Измерение коэффициента теплопроводности новой минеральной ваты в лабораторных условиях показало, что его значение соответствует паспортным данным и составляет $0,038 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$.

Анализ состояния тепловой изоляции показывает, что около 25 % рассматриваемого трубопровода находится полностью без изоляции, на 25 % остальной поверхности отсутствует поверхностный защитный слой (рисунок 1).



Рисунок 1 – Общий вид теплоизоляции трубопровода

Открытые участки теплоизоляции (без защитного слоя) имеют изменённую структуру (более плотную) с множественными вкраплениями частиц песка, мелких камней и др. (рисунок 2).



Рисунок 2 – Участок теплоизоляции без защитного слоя

Для дальнейших расчётов были взяты образцы теплоизоляции с участков без защитного слоя и с защитным слоем (из нижней части трубопровода):

– участок без тепловой изоляции и защитного слоя. Площадь участка: 25 % от общей площади;

– участок без защитного слоя. Площадь участка: 25 % от общей площади; $\lambda = 0,544 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$

– участок с тепловой изоляцией и защитным слоем. Площадь участка: 50 % от общей площади; $\lambda = 0,159 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$.

Произведём расчёт действительных тепловых потерь для неизолированного теплопровода, для остальных участков результаты расчёта приведём в таблице.

Коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности теплопровода к окружающему воздуху состоит из двух слагаемых – коэффициента теплоотдачи излучением $\alpha_{\text{л}}$ и коэффициента теплоотдачи конвекцией $\alpha_{\text{к}}$.

Подающий:

$$\alpha_{\text{к}} = 4,65 \frac{w^{0,7}}{d^{0,3}} = 4,65 \frac{5^{0,7}}{0,438^{0,3}} = 18,36,$$

где d – наружный диаметр теплопровода, $= 0,426 + 2 \cdot 0,06 = 0,438 \text{ м}$.

w – скорость воздуха, принята 5 м/с .

$$\alpha_{\text{л}} = C \frac{\left(\frac{t + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{t_0 + 273}{100}\right)^4}{t - t_0} = 5 \frac{\left(\frac{70 + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{-8 + 273}{100}\right)^4}{70 + 8} = 5,7$$

C – коэффициент излучения, для поверхности неизолированных трубопроводов, изоляционных конструкций имеет значение $4,4\text{--}5 \text{ Вт/(м}^2\text{К}^4)$;

t – температура излучающей поверхности.

$$\alpha_{\text{н}} = \alpha_{\text{к}} + \alpha_{\text{л}} = 18,36 + 5,7 = 24 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$$

$$R_{\text{н}} = \frac{1}{\pi d \alpha} = \frac{1}{3,14 \cdot 0,438 \cdot 24} = 0,03, \text{ м} \cdot \text{К/Вт}$$

Удельные тепловые потери составят:

$$q^{\text{под}} = (70 - (-8)) / 0,03 = 2600 \text{ Вт/м}$$

Обратный:

$$\alpha_k = 4,65 \frac{W^{0,7}}{d^{0,3}} = 4,65 \frac{5^{0,7}}{0,438^{0,3}} = 18,36,$$

$$\alpha_n = C \frac{\left(\frac{t+273}{100}\right)^4 - \left(\frac{t_0+273}{100}\right)^4}{t-t_0} = 5 \frac{\left(\frac{50+273}{100}\right)^4 - \left(\frac{-8+273}{100}\right)^4}{50+8} = 5,1$$

$$\alpha_n = \alpha_k + \alpha_n = 18,36 + 5,1 = 23,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$$

$$R_n = \frac{1}{\pi l \alpha} = \frac{1}{3,14 \cdot 0,438 \cdot 23,5} = 0,03, \text{ м} \cdot \text{К}/\text{Вт}$$

Удельные тепловые потери составят:

$$q^{\text{обр}} = (50+8)/0,03 = 1933,3 \text{ Вт}/\text{м}$$

Таблица 1 – Результаты расчёта

Участок	Площадь участка, % от общей площади	$q^{\text{пол}}$, Вт/м	$q^{\text{обр}}$, Вт/м	$Q^{\text{пол}}$, Вт	$Q^{\text{обр}}$, Вт
Неизолированный теплопровод	25	2600	1933,3	2990	2223
участок без защитного слоя	25	1218,75	892,3	1401,5	1042,2
участок с тепловой изоляция и защитным слоем	50	402,06	299	462,4	343,85
Общие теплотери	100	1155,7	855,9	1329	988,31

Согласно нормам тепловых потерь, Вт/м, для трубопровода диаметром 426 мм при надземной прокладке с расчетной среднегодовой температурой наружного воздуха +5 °С:

– для подающего трубопровода $(\tau - t_0) = 78$ °С норма тепловых потерь = 130,32 Вт/м;

– для обратного трубопровода $(\tau - t_0) = 58$ °С норма тепловых потерь = 109,04 Вт/м.

Коэффициент пересчета на измеряемую температуру

$$k_{\text{н}}^{\text{нал}} = \frac{t_{\text{п}}^{\text{ср}} - t_{\text{н}}^{\text{ср}}}{t_{\text{п}}^{\text{ср.год}} - t_{\text{н}}^{\text{ср.год}}}$$

$$k_{\text{о}}^{\text{нал}} = \frac{t_{\text{о}}^{\text{ср}} - t_{\text{н}}^{\text{ср}}}{t_{\text{о}}^{\text{ср.год}} - t_{\text{н}}^{\text{ср.год}}}$$

где $t_{\text{п}}^{\text{ср.год}}, t_{\text{о}}^{\text{ср.год}}, t_{\text{н}}^{\text{ср.год}}$ – среднегодовые температуры соответственно теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети и наружного воздуха, °С;

$t_{\text{п}}^{\text{ср}}, t_{\text{о}}^{\text{ср}}, t_{\text{н}}^{\text{ср}}$ – средние температуры за нормируемый период, °С.

$$k_{\text{п}}^{\text{нал}} = \frac{70 - (-8)}{72,1 - 3,9} = 1,14$$

$$k_{\text{о}}^{\text{нал}} = \frac{50 - (-8)}{48,8 - 3,9} = 1,29$$

С учетом этих коэффициентов для температуры наружного воздуха – 8 С норма тепловых потерь для подающего трубопровода составит $130,32 \cdot 1,14 = 148,6$ Вт/м, для обратного – $109,04 \cdot 1,29 = 140,7$ Вт/м.

Превышение тепловых потерь для подающего теплопровода в 7,8 раза, для обратного в 6,1 раза.

Выводы

Проведённые расчёты показали, что на рассматриваемом участке тепловой сети тепловые потери значительно превышают нормативные. Это обуславливается не только отсутствием изоляции на части трубопровода, но и изменением коэффициента теплопроводности волокнистой теплоизоляции при эксплуатации её без защитного слоя.

Список использованных источников

1 **Корнев, С. А.** Применение оптимального материала теплоизоляции для повышения энергоэффективности тепловой сети / С. А. Корнев. – // Молодой ученый. – 2015. – № 24 (104). – С. 145–146.

2 **Воронина, Ю. А.** Влияние увлажнения теплоизоляции на тепловые потери в системах теплоснабжения / Т. Н. Немова, К. Д. Трофимов, Н. А. Цветков // Изв. вузов. Физика. – 2010. – № 12/2. – С. 63–69.

3 **Кузнецов, Г. В.** Математическое моделирование процессов теплооблагоденоса в тепловои изоляции трубопроводов / Г. В. Кузнецов, В. Ю. Половников // Энергосбережение и водоподготовка. – 2007. – № 6. – С. 37–39.

4 **Иванов, В. В.** Влияние увлажнения изоляции и грунта на тепловые потери подземных теплотрасс / В. В. Иванов, Н. В. Букаров, В. В. Василенко // Новости теплоснабжения. – 2002. – № 7. – С. 32–33.

5 Теплоснабжение / А. А. Ионин, Б. М. Хлыбов, В. Н. Братенков, Е. Н. Терлецкая ; под ред. А. А. Ионина. – М. : Стройиздат, 182. – 336 с.

6 **Немова, Т. Н., Лежнева, Ю. А., Цветков, Н. А., Алексеева, Е. Г.** Влияние изменения теплопроводности теплоизоляционных материалов на тепловые потери магистральных трубопроводов // Вестник ТГАСУ. 2016. № 5 (58). С. 151–160.

7 **Гусев, Б. В.** Теплопроводность минераловатных плит в условиях эксплуатационных воздействий / Б. В. Гусев, В. А. Езерский, П. В. Монастырев // Пром. и гражд. строительство. – 2005. – № 1. – С. 48 – 49.

8 **Ярцев, В. П.** Влияние силовых и атмосферных воздействий на теплофизические характеристики минераловатных плит/ В. П. Ярцев, А. М. Дорофеев // Кровел. и изоляц. материалы. – 2010. – № 4. – С. 14 – 15.

9 **Кинжибекова А. К., Никифоров А. С., Приходько Е. В.** Влияние температурных деформаций кладки на тепловые потери теплоиспользующих агрегатов. Промышленная энергетика. № 12. 2007. с. 34 – 35.

10 **Кинжибекова, А. К.** Исследование тепловой работы обмуровки котельных агрегатов // Вестник ИнеУ. 2006. – № 2. С. 111–115.

References

1 **Kornev, S. A.** Primenenie optimal'nogo materiala teploizolyacii dlya povysheniya energoeffektivnosti teplovoj seti. [Kornev, S. A. Application of an optimal heat insulation material to improve the energy efficiency of the heating network] [Text] // Young scientist. – 2015. – No. 24 (104). – S. 145–146.

2 **Voronina, Yu. A.** Vliyanie uvlazhneniya teploizolyacii na teplovye poteri v sistemah teplosnabzheniya [Voronina, Yu. A. Influence of humidification of thermal insulation on heat losses in heat supply systems] [Text] // Izv. universities. Physics. – 2010. – No. 12/2. – S. 63–69.

3 **Kuznetsov, G. V.** Matematicheskoe modelirovanie processov teplooblagoperenosa v teplovoj izolyacii truboprovodov [Kuznetsov, G. V. Mathematical modeling of heat and moisture transfer processes in thermal insulation of pipelines] [Text] // Energy saving and water treatment. – 2007. – No. 6. – P. 37–39.

4 **Ivanov, V. V.** Vliyanie uvlazhneniya izolyacii i grunta na teplovye poteri podzemnyh teplotrass [Ivanov, V. V. Influence of humidification of insulation and

soil on heat losses of underground heating mains / V. V. Ivanov, N. V. Bukarov, V. V. Vasilenko] [Text] // Heat supply news. – 2002. – No. 7. – P. 32–33.

5 **Ionin, A. A., Hlybov, B. M., Bratenkov, V. N., Terleckaya E. N.** Teplosnabzhenie [Ionin A. A., Khlybov B. M., Bratenkov V. N., Terletskeya E. N. Heat supply] [Text] // – М. : Stroyizdat, 182. – 336 p.

6 **Nemova, T. N., Lezhneva, Yu. A., Cvetkov, N. A., Alekseeva, E. G.** Vliyanie izmeneniya teploprovodnosti teploizolyacionnyh materialov na teplovye poteri magistral'nyh truboprovodov [Nemova T. N., Lezhneva Yu. A., Tsvetkov N. A., Alekseeva E. G. Influence of changes in the thermal conductivity of heat-insulating materials on the heat losses of main pipelines] [Text] // TGASU Bulletin/ – 2016. No. 5 (58). S. 151–160.

7 **Gusev, B. V.** Teploprovodnost' mineralovatnyh plit v usloviyah ekspluatatsionnyh vozdeystviy [B. V. Gusev, V. A. Ezersky, P. V. Monastirev Thermal conductivity of mineral wool slabs under operating conditions] [Text] // Prom. and citizen construction. – 2005. – No. 1. – P. 48 – 49.

8 **YArcev, V. P.** Vliyanie silovyh i atmosferynyh vozdeystviy na teplofizicheskie harakteristiki mineralovatnyh plit [Yartsev, V. P., Dorofeev A. M. Influence of force and atmospheric influences on the thermophysical characteristics of mineral wool slabs] [Text] // Roof. and insulating materials. – 2010. – No. 4. – P. 14 – 15.

9 **Kinzhibekova, A. K., Nikiforov, A. S., Prihod'ko, E. V.** Vliyanie temperaturnykh deformatsiy kladki na teplovye poteri teploispol'zuyushchih agregatov. [Kinzhibekova A.K., Nikiforov A.S., Prihodko E.V. Influence of thermal deformations of masonry on heat losses of heat-using units] [Text] // Industrial power engineering. No. 12. 2007. p. 34 – 35.

10 **Kinzhibekova, A. K.** Issledovanie teplovoj raboty obmurovki kotel'nykh agregatov [Kinzhibekova A.K. Investigation of the thermal work of the lining of boiler units] [Text] // Vestnik InEU. 2006. – № 2. S. 111–115.

Материал поступил в редакцию 11.12.20.

Е. В. Оришевская¹, Е. В. Приходько², А. Б. Бояндинова³,

Е. А. Пешеходова⁴, Г. А. Айтмагамбетова⁵

Жылу жүйесінің тежеу материалдарын жылу өткізгіштік коэффициенті арқылы өлшеуді талдау фактор пайдалану

^{1,2,4,5}Торайғыров университеті,

Қазақстан Республикасы, Павлодар қ;

³«Еуроазиаттық энергетикалық корпорациясы» АҚ, Ақсу қ.

Материал баспаға 11.12.20 түсті.

E. V. Orishevskaya¹, E. V. Prikhodko², A. B. Boyandinova³,

E. A. Peshekhodova⁴, G. A. Aytmagambetova⁵

Analysis of heat networks insulation's thermal conductivity coefficient changes depending on operating factors

^{1,2,4,5}Toraighyrov University,

Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

³«Euroasian Energy Corporation» JSC,

Republic of Kazakhstan, Aksu.

Material received on 11.12.20.

Мақалада жылу жүйесінің талшылық бойынша жылуоқшаулығын өлшеу коэффициентіне талдау жасалады.

Талдауға қанағаттарлықсыз жағдайда жылу оқшауламасы жылу жүйесінің телімі таңдаған болған, бірақ ол пайдалануда тұрған болды. Құбырдың әртүрлі учаскесінде, сондай-ақ жаңа минералды мақтаға жылу өткізгіштіктің оқшаулауына коэффициенттік өлшеулеріне өткізген болған. Алынған деректердің негізінде жылу өткізгіштегі коэффициенттің өзгертуі туралы және минералды мақтаның қалыңдығына, жылу жүйесінің бетінен жарамды жылу шығындардан есептеу өндірілген болды. Есептеулер көрсетті: құбыр беруші үшін пайдалану кезінде 7,8 есе және 6,1 есе – керісінше үшін жылу ысыраптары асып кетіп жүріп жатыр.

Кілтті сөздер: жылу шығындары, жылу оқшаулауы, жылу жүйесі.

The article analyzes changes in the coefficient of thermal conductivity of fibrous heat-insulating materials of heat networks depending on the influence of operational factors on them.

The operational section of the heat network with unsatisfactory state of thermal insulation was selected for the analysis. Thermal conductivity coefficient of insulation of various sections of the pipeline, as well as new mineral wool, was measured.

Based on the data obtained on changes in the thermal conductivity coefficient and the thickness of mineral wool, the actual heat losses from the surface of the heat network were calculated. Calculations have shown that during operation, the heat loss for the supply pipeline is exceeded by 7, 8 times and 6,1 times for the return pipeline.

Keywords: heat losses, thermal insulation, heat networks.

Теруге 11.12.2020 ж. жіберілді. Басуға 17.12.2020 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

3,99 Mb RAM

Шартты баспа табағы 26,6. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Шукурбаева

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3715

Сдано в набор 11.12.2020 г. Подписано в печать 17.12.2020 г.

Электронное издание

3,99 Mb RAM

Усл. печ. л. 26,6. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Шукурбаева

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 3715

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

8 (7182) 67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik.tou.edu.kz