

# ЖЫЛУ ФИЗИКАСЫ ЖӘНЕ ТЕОРИЯЛЫҚ ЖЫЛУ ТЕХНИКАСЫ ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА

УДК 536.33

И.П.Куритнык<sup>1</sup>, Б.Р.Нусупбеков<sup>2</sup>, Д.Ж.Карабекова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Университет в Бельско-Бяла, Польша;

<sup>2</sup>Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова  
(E-mail: karabekova71@mail.ru)

## Прибор для мониторинга подземных теплотрасс

В статье отмечено, что тепловые методы неразрушающего контроля получили широкое распространение для анализа состояния тепловой изоляции подземных трубопроводов. Показано, что в тепловых методах неразрушающего контроля используется тепловая энергия, распространяющаяся в объекте контроля. Температурное поле поверхности объекта является источником информации об особенностях процесса теплопередачи. Авторами описаны несколько разработанных ими модификаций датчиков теплового потока, общим элементом которых является батарейный термоэлектрический датчик специальной конструкции, выполняющий роль термоэлектрического преобразователя теплового потока.

*Ключевые слова:* тепловой поток, датчики теплового потока, диагностика, термоэлектрический батарейный преобразователь теплового потока.

Актуальной задачей, стоящей перед предприятиями коммунальной теплоэнергетики, является надежное обеспечение потребителей теплом и горячей водой. Вследствие значительного физического износа трубопроводов системы теплоснабжения практически на любом участке теплосети в любое время может возникнуть авария. Последствиями ее, помимо снижения комфортных условий для потребителя, являются материальные потери, связанные с прекращением подачи тепла и горячей воды. Утечка из системы 10 тонн нагретого до 100 градусов теплоносителя эквивалентна потере 1 Гкал тепла. Следовательно, оперативный поиск утечек на трубопроводах и устранение их являются одной из актуальных проблем.

В последнее время широко обсуждаются аспекты эксплуатации и диагностики подземных инженерных сетей, в т.ч. и тепловых сетей канального исполнения. Диагностика тепловых сетей — это косвенный контроль состояния технологического оборудования и строительных конструкций, скрытых слоев грунта, а в городских условиях — дополнительно слоями асфальта, щебня, а в ряде случаев и слоем строительного мусора, от визуального наблюдения. Это большой вопрос почти для всех предприятий, занимающихся вопросами транспорта тепловой энергии, горячей и холодной воды в городских условиях (рис. 1). Например, в городе Караганде подземная прокладка составляет до 80 % трубопроводов тепловых сетей, до 20 % сетей горячего водоснабжения, а для сетей холодного водоснабжения — почти 100 % [1].

В настоящее время значительное количество трубопроводов различного технологического назначения после длительной эксплуатации требует оценки их состояния с целью обеспечения надежности, продления ресурса и оптимизации ремонтно-монтажных и строительных работ. Поэтому на первом этапе технического диагностирования максимум информации стремятся получить без вскрытия грунта.

Тепловые методы неразрушающего контроля получили широкое распространение применительно к различного рода защитным покрытиям для анализа состояния тепловой изоляции подземных трубопроводов, плавильных печей, в строительстве и т.д.

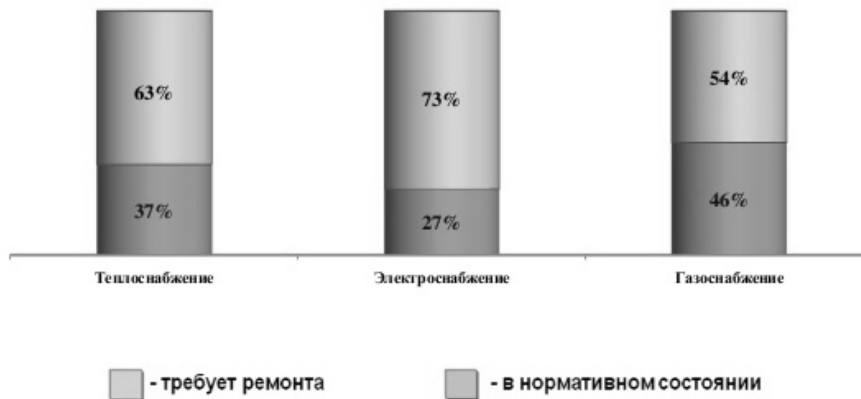


Рисунок 1. Уровень износа коммунальных систем Республики Казахстан

В тепловых методах неразрушающего контроля используется тепловая энергия, распространяющаяся в объекте контроля. Температурное поле поверхности объекта является источником информации об особенностях процесса теплопередачи, которые, в свою очередь, зависят от наличия внутренних или наружных дефектов. Под дефектом при этом понимается наличие скрытых раковин, полостей, трещин, всевозможных отклонений физических свойств объекта контроля от нормы, наличия мест локального перегрева (охлаждения) и т.п.

Приборы для измерения теплового потока обладают характеристиками, которые дают ряд преимуществ по сравнению с другими методами неразрушающего контроля (акустическими, ультразвуковыми, рентгеновскими и др.): высокая чувствительность к изменению теплофизических характеристик объектов контроля, возможность проведения контроля без использования внешнего источника энергии, обнаружение утечек теплоты, безопасность эксплуатации [2].

Разработанный датчик предназначен для измерения поверхностной плотности теплового потока различными методами. Наиболее оптимальным для расчета и технологического изготовления оказался метод «вспомогательной стенки». Суть метода заключается в том, что на пути измеряемого потока располагается стенка с известной теплопроводностью. Остается определить перепад температуры и вычислить поток. Как обычно, эффект присутствия измерительного органа желательно свести к минимуму, поэтому вспомогательная стенка, по возможности, не должна быть дополнительной, как ее иногда называют. В тех же случаях, когда дополнительное сопротивление неизбежно, необходимо знать не только абсолютную величину, но и ее долю в суммарном тепловом сопротивлении цепи, проводящей измерительный ток.

Датчики теплового потока выполнены в виде вспомогательной стенки, состоящей из батареи идентичных гальванических термоэлементов, включенных параллельно по измеряемому тепловому потоку и последовательно по генерируемому электрическому сигналу. Монолитность преобразователя в жестком или гибком исполнении обеспечена заливочным электроизоляционным компаундом. При эксплуатации датчика теплового потока, установленного на поверхности исследуемого объекта, в стационарном режиме теплообмена на противоположных плоских поверхностях датчика возникает пропорциональный измеряемой плотности проходящего теплового потока температурный перепад, благодаря которому в батарее термоэлементов генерируется термоэлектродвижущая сила (ТЭДС) [3].

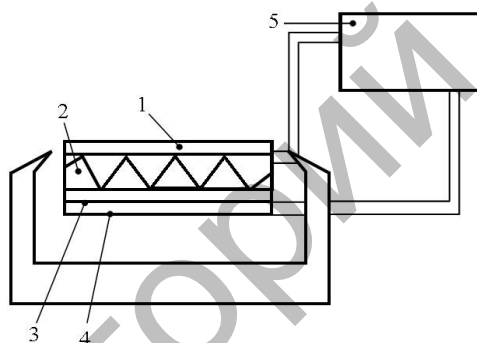
Планирование ремонтов на основе предварительной оценки состояния протяженных подземных участков трубопроводов с использованием традиционных методов неразрушающего контроля представляется возможным только в случае определения участков труб, работающих в наиболее напряженных условиях и предрасположенных к повреждениям, т.е. при условии определения наиболее уязвимых участков, по результатам контроля которых можно делать выводы о состоянии металла и работоспособности всей трассы трубопровода.

Проведение испытаний тепловых сетей предусматривает определение величины линейной плотности теплового потока, равной потерям тепловой энергии с одного метра тепловой изоляции по длине теплопровода, для характерных участков и аномальных зон. Полные фактические тепловые потери в испытываемой теплосети определяются как сумма потерь на характерных участках и аномальных зонах [4].

Разработанный датчик теплового потока не зависит от изменения состояния окружающей среды. Общим элементом этих приборов является батарейный термоэлектрический датчик специальной конструкции, выполняющий роль термоэлектрического преобразователя теплового потока. Термоэлектрический датчик выполнен в форме ограниченного цилиндра, одно основание которого представляет рабочую поверхность, второе основание имеет тепловой контакт с телом, имеющим температуру окружающей среды. Встроенные нагреватели позволяют создавать тепловой поток через термоэлектрический датчик в направлениях, перпендикулярных его основаниям [5, 6].

Активные спаи термоэлектрического преобразователя имеют тепловой контакт с приемной пластиной, а «пассивные» — с нагревательным элементом, температура которого контролируется термозависимым элементом. С помощью нагревательного элемента через термоэлектрический батарейный преобразователь теплового потока создается тепловой поток, равный по величине и противоположный по направлению тепловому потоку от исследуемой поверхности при нормальных условиях эксплуатации исследуемого объекта. Поток от нагревателя является реперным для исследуемого объекта, с ним сравниваются тепловые потоки в областях, где предполагаются дефекты.

На рисунке 2 представлено схематическое изображение прибора для измерения теплового потока. Принцип работы прибора: приемная пластина 1 имеет тепловой контакт с «активными» спаями термоэлектрического батарейного преобразователя 2, нагревательный элемент 3 имеет тепловой контакт с «пассивными» спаями термоэлектрического батарейного преобразователя 2. Термозависимый элемент 4 имеет тепловой контакт с нагревательным элементом 3, выходной сигнал с термоэлектрического батарейного преобразователя 2 и термозависимого элемента 4 подается на электронный блок.



1 — приемная пластина; 2 — термоэлектрический батарейный преобразователь теплового потока; 3 — нагревательный элемент; 4 — термозависимый элемент; 5 — электронный блок преобразования и измерения сигнала

Рисунок 2. Схематическое изображение прибора теплового потока

Прибор для измерения теплового потока работает следующим образом. Приемная пластина приводится в тепловой контакт с исследуемым объектом в области отсутствия дефектов тепловой изоляции. Через нагревательный элемент пропускается электрический ток такой величины, чтобы сигнал на выходе термоэлектрического преобразователя был постоянен. Это означает, что с помощью нагревательного элемента через термоэлектрический преобразователь теплового потока создается реперный тепловой поток, равный по величине и противоположный по направлению тепловому потоку от исследуемого объекта в области дефектов тепловой изоляции. При исследовании с возможными дефектами изоляции ток нагревательного элемента не регулируется. Это приводит к изменению сигнала на выходе термоэлектрического преобразователя теплового потока. По величине изменения этого сигнала можно судить о степени дефекта тепловой изоляции [7].

О величине теплового потока можно судить по выходному сигналу термоэлектрического холодильника. Совмещение с приемной пластиной, термобатареей и батарейным преобразователем теплового потока позволяет: 1) уменьшить влияние случайных колебаний параметров окружающей среды; 2) сохранить значительной величины выходной сигнал батарейного преобразователя теплового потока, что является новым и отличительным признаками в предлагаемых устройствах (рис. 3) [8].

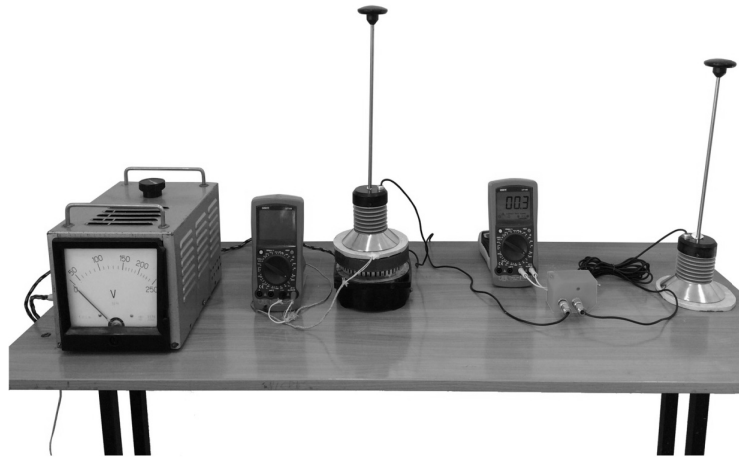


Рисунок 3. Экспериментальная установка

Для градуировки датчика теплового потока были проведены исследования. С помощью стандартной градуировочной таблицы медь-константан определены (рис. 4) приращения температуры от термоэлектродвижущейся силы (табл.).

Т а б л и ц а

Градуировочная таблица датчика от температур

№	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	$\Delta \varepsilon, \text{мВ}$	$\alpha$	$\alpha_{\text{ср}}$
1	0	0	0	0,7824
2	5	4	0,8	
3	7	5,9	0,842857	
4	10	8,1	0,81	
5	15	12	0,8	
6	20	15,4	0,77	
7	25	19,2	0,768	
8	30	22,8	0,76	
9	35	26,2	0,748571	
10	40	29,7	0,7425	

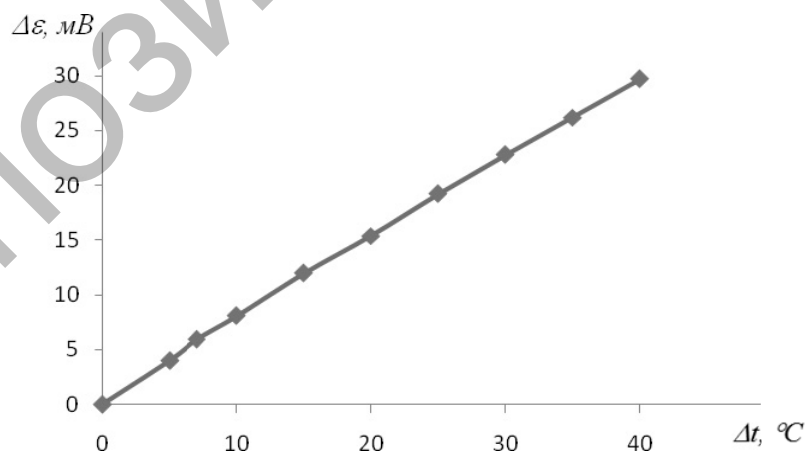


Рисунок 4. Градуировочный график датчика от температур

Предлагаемые приборы могут работать как по одноканальной, так и по двухканальной схеме. Обнаруживаемые при этом аномально высокие значения энергетических потерь указывают на участки трубопровода с полностью или частично разрушенной тепловой изоляцией или механическими повреждениями материала трубопровода.

## Список литературы

- 1 www. atamekenunion.kz
- 2 *Геращенко О.А., Грищенко Т.Г.* Теплометрический индикатор диагностики теплотрасс ТИДиТ-01 // Приборы для теплофизических измерений: Каталог. — Киев: Час, 1991. — С. 19.
- 3 *Антипов Ю.Н., Карабекова Д.Ж., Ахтанова М.К., Иманасова Н.В.* Приборы для измерения энергетических параметров теплофизических процессов // Известия КГТУ. — Калининград, 2005. — № 7. — С. 241–245.
- 4 *Антипов Ю.Н.* Измерение импульсного излучения. — Караганда, 1981. — 94 с.
- 5 А.с. 27617 РК 1999 г. Прибор для измерения теплового потока / Антипов Ю.Н., Карабекова Д.Ж.
- 6 А.с. 37716 РК 2001 г. Прибор для измерения теплового потока / Кусаинов К., Гладков В.Е., Карабекова Д.Ж.
- 7 *Nussupbekov B.R., Karabekova D.Zh., Zhargakova S.S.* Nondestructive testing for diagnostics of pipelines // Physical technical journal. — 2012. — Vol. 9, № 2(18). — P. 13–18.
- 8 *Kurytnik I.P., Nussupbekov B.R., Karabekova D.Zh., Zhargakova S.S.* Thermal control method for the diagnosis of underground heating systems // Bull. of the Karaganda State University. — 2014. — No. 2(74). — P. 52–55.

И.П.Куритный, Б.Р.Нусупбеков, Д.Ж.Карабекова

### Жерасты теплотрасса мониторингі үшін аспап

Мақалада бақылаудың жылулық әдістемесі жерасты құбыр өткізгіштерінің жылулық оқшауланған кезіндегі талдаулары үшін кең қолданыс табуға. Бақылаудың жылулық әдістемесінде бақылау нысанасында таралатын жылулық энергия қолданылады. Объект бетінің температуралық өрісі жылу берілу процесінің ерекшеліктері туралы ақпарат көзі болып табылады. Біз жасаған жылулық ағын құрылғылардың бірнеше көрсеткіш модификациялары сипатталған. Бұл аспаптардың ортақ элементі жылулық ағынның жылуэлектрлік түрлендіргіш рөлін орындайтын арнайы құрылған батареялы жылуэлектрлік көрсеткіш болып табылады.

I.P.Kurytnik, B.R.Nussupbekov, D.Zh.Karabekova

### Device for monitoring of underground heating mains

Thermal methods of nondestructive testing are widely used for the analysis of the thermal insulation of underground pipelines. In heat method nondestructive testing, the thermal energy is distributed in the test object. Temperature field of the object's surface is a source of information on the characteristics of heat transfer. This article describes the modifications we have developed some of the heat flux sensors. A common element of these devices is the battery thermoelectric sensor special design, acting as a thermoelectric converter heat flow.

## References

- 1 www. atamekenunion.kz
- 2 *Gerashchenko O.A., Grishchenko T.G.* *Equipment for thermal measurements: Directory*, Kiev: Chas, 1991, p. 19.
- 3 *Antipov Yu.N., Karabekova D.Zh., Akhtanova M.K., Imanasova N.V.* *KSTU news*, Kaliningrad, 2005, 7, p. 241–245.
- 4 *Antipov Yu.N.* *Measurement of pulsed light*, Karaganda, 1981, 94 p.
- 5 А.С. 27617 РК 1999. *A device for measuring heat flow*, Antipov Yu.N., Karabekova D.Zh.
- 6 А.С. 37716 РК 2001. *A device for measuring heat flow*, Kusainov K., Gladkov V.E., Karabekova D.Zh.
- 7 *Nussupbekov B.R., Karabekova D.Zh., Zhargakova S.S.* *Physical technical journal*, 2012, vol. 9, № 2(18), p. 13–18.
- 8 *Kurytnik I.P., Nussupbekov B.R., Karabekova D.Zh., Zhargakova S.S.* *Bull. of the Karaganda State University*, 2014, 2(74), p. 52–55.