

Тепловые методы и приборы неразрушающего контроля

Б. Р. НУСУПБЕКОВ, Д. Ж. КАРАБЕКОВА, А. К. ХАСЕНОВ

Карагандинский государственный университет им. академика Е. А. Букетова,
Караганда, Республика Казахстан, e-mail: karabekova71@mail.ru

Разработаны несколько модификаций датчиков теплового потока, на основе батарейного термоэлектрического элемента специальной конструкции, как термоэлектрического преобразователя теплового потока.

Ключевые слова: теплотрасса, теплотеметрический прибор, тепловой поток, теплоизоляция, термоэлектрический батарейный преобразователь.

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.

Key words: heat flux, heat flux sensors, diagnostics, thermoelectric battery inverter heat flux.

В настоящее время в Республике Казахстан уровень износа коммунальных сетей теплоснабжения составляет 63%, электроснабжения — 73%, газоснабжения — 54%. Одна из главных задач городских коммунальных служб — бесперебойное теплоснабжение и обеспечение каждого потребителя горячей водой с минимальными потерями. При аварии на теплотрассе и выбросе 10 т теплоносителя, нагретого до 100 °С, потеря тепловой энергии достигает 1 Гкал. Своевременная диагностика подземных теплотрасс позволит не только оперативно выявлять аварийные и потенциально-дефектные участки тепловых сетей, но и увеличит срок их службы, а также снизит потери в системах теплоснабжения. В связи с этим создание и внедрение приборов для измерений с высокой точностью локальных тепловых потерь и контроля температуры являются актуальными задачами для коммунальных служб соответствующих регионов [1].

Обширная практика обследования подземных теплосетей показала, что всем требованиям технической диагностики удовлетворяет метод теплового неразрушающего контроля (ТНК), основанный на сравнении расчётных экспериментальных значений распределения температуры на поверхности грунта над теплотрассами [2]. Он позволяет оценить состояние труб тепловых сетей, найти места утечки теплоносителя, без вскрытия трубопроводов и прекращения их эксплуатации [3].

В Карагандинском государственном университете им. Е. А. Букетова на основе батарейного термоэлектрического преобразователя теплового потока разработаны и испытаны приборы позволяющие измерять поверхностную плотность теплового потока независимо от состояния окружающей среды. По сравнению с аналогами созданные приборы имеют ряд преимуществ: высокую чувствительность; возможность сплошного и непрерывного наблюдения; оперативность нахождения места утечек теплоносителя [4].

Измеритель теплового потока ИТП-1М. На рис. 1 приведена схема ИТП-1М. Прибор состоит из приемной пластины 4, которая находится в тепловом контакте с активными спаями, а нагревательный элемент 2 — с пассивными спаями термоэлектрического батарейного преобразователя теп-

лового потока 3. Выходные сигналы с преобразователя 3 и термозависимого элемента 1 поступают на электронный блок 5. Корпус прибора выполнен в форме ограниченного цилиндра, одно из оснований которого представляет рабочую поверхность, второе — находится в тепловом контакте с объектом, температура которого равна температуре окружающей среды. Встроенные нагреватели создают тепловой поток через термоэлектрический датчик в направлениях перпендикулярных его основаниям [5].

Перед эксплуатацией прибор теплового потока градуируют на теплотрассе в зоне без дефектов, измеряя контролируемые параметры как непосредственно над осью трассы, так и вне зоны её теплового воздействия. При этом через нагревательный элемент пропускается электрический ток, который обеспечивает постоянный сигнал на выходе батарейного преобразователя. Для исследований теплотрасс с возможными дефектами изоляции сила тока нагревательного элемента не регулируется. Совмещая приёмную пластину прибора с исследуемой областью, внутренние дефекты изоляции выявляют по изменению сигнала на выходе батарейного преобразователя, а размер дефекта — по значению этого сигнала. Термозависимым элементом контролируют температуру нагревателя.

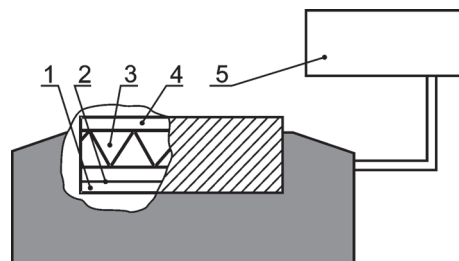


Рис. 1. Схема измерителя теплового потока (ИТП-1М):

1 — термозависимый элемент; 2 — нагревательный элемент; 3 — термоэлектрический батарейный преобразователь теплового потока; 4 — приёмная пластина; 5 — электронный блок

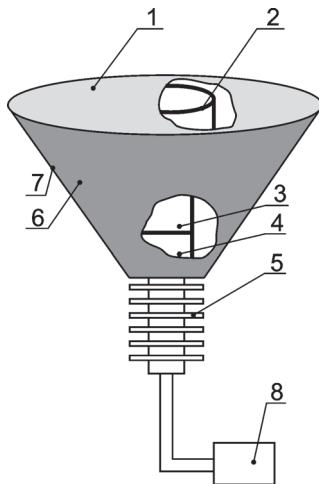


Рис. 2. Схема измерителя теплового потока (ИТП-2М):

1 — защитная плёнка; 2 — калибровочная обмотка; 3 — чувствительный элемент; 4 — термостабилизатор; 5 — радиатор; 6 — теплоизолятор; 7 — боковая поверхность; 8 — электронный блок

Измеритель теплового потока ИТП-2М. Схема модифицированного измерителя ИТП-2М представлена на рис. 2. Тепловой поток поступает через защитную плёнку 1 на чувствительный элемент 3, горячие спаи термобатарей находятся в тепловом контакте с защитной плёнкой, а холодные — с термостабилизатором 4. Далее тепловая энергия передаётся к корпусам радиатора 5. Для исключения теплоотдачи с боковой поверхности чувствительный элемент 3 окружён теплоизолятором 6. Вся система замкнута конусообразной боковой поверхностью 7 [6, 7].

Дефект в трубопроводе приводит к резкой смене температуры, указывая на участки трубопровода с полностью или частично разрушенной тепловой изоляцией или механическими повреждениями материала трубопровода [8].

Для предварительной градуировки батарейного термоэлектрического преобразователя теплового потока (таблица) авторами проведены лабораторные и натурные испытания, где Δt — разность температур между исследуемым объектом и окружающей средой, $\Delta \varepsilon$ — разность термоэлектродвижущей силы (термоЭДС) между исследуемым объектом и окружающей средой, α , $\alpha_{\text{ср}}$ — расчётный и усреднённый градуировочные коэффициенты, соответственно.

Градуировочная таблица

№	Δt , °C	$\Delta \varepsilon$, мВ	α , мВ/°C	$\alpha_{\text{ср}}$, мВ/°C
1	0	0	0	0,7824
2	5	4	0,80	
3	7	5,9	0,8428	
4	10	8,1	0,8100	
5	15	12	0,80	
6	20	15,4	0,7700	
7	25	19,2	0,7680	
8	30	22,8	0,7600	
9	35	26,2	0,7485	
10	40	29,7	0,7425	

Градуировочные результаты медь-константановых термопар сравнивали с табличными значениями стандартных термопар. По значениям термоЭДС определяли температуру в локальных точках. Испытываемый прибор работал в диапазоне 50—1000 Вт/м², что соответствовало нормативным теплотермостатам. Время регистрации сигнала не превышало 1 мин.

По стандартной методике авторами найдена погрешность измерений термоэлектрического преобразователя. Термопары включены дифференциально, т. е. для вычисления достаточно получить изменяющуюся во времени температуру с одной из термобатарей [9, 10]. Разность температур, измеренных первой термобатареей равна $(T_1 - T)$, второй термобатареей — $(T - T_2)$, причём $T_1 > T > T_2$, где T — измеряемая температура. Тогда термоЭДС батарей запишем как

$$\varepsilon_1 = n_1 k (T_1 - T); \quad \varepsilon_2 = n_2 k (T_2 - T),$$

где n_1, n_2 — число термопар в каждой батарее; k — коэффициент Зеебека термоэлемента.

Если измеряемая температура известна и равна T_0 , то

$$\varepsilon_{10} = n_1 k (T_1 - T_0); \quad \varepsilon_{20} = n_2 k (T_0 - T_2).$$

Температуру T_0 примем как реперную при условии $\varepsilon_{10} = \varepsilon_{20}$, получим

$$T_0 = (n_1 T_1 + n_2 T_2) / (n_1 + n_2).$$

При дифференциальном включении термобатарей падение напряжения на регистрирующем приборе

$$U = (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) R / (r_1 + r_2 + R),$$

где r_1, r_2 — сопротивления термобатарей; R — входное сопротивление регистрирующего прибора [11].

Найдём измеряемую температуру

$$T = T_0 - U/a,$$

где $a = (k (n_1 + n_2) R) / (r_1 + r_2 + R)$.

При последовательном включении термобатарей:

$$T = U/a - T_0.$$

Подобный порядок включения повышает точность измерений, компенсируя влияние температуры окружающей среды. Фактически измеряют только разность между реперной и исследуемой температурами.

Погрешность вычислений плотности теплового потока при калибровке

$$\sigma_q = \sqrt{4\sigma_i^2 + \sigma_r^2 + \sigma_s^2},$$

где $\sigma_i, \sigma_r, \sigma_s$ — погрешности силы тока калибровки, омического сопротивления нагревательной спирали и площади чувствительного элемента, соответственно ($\sigma_i = \pm 0,05\%$, $\sigma_r = \pm 0,02\%$, $\sigma_s = \pm 0,04\%$, $\sigma_q = \pm 0,11\%$).

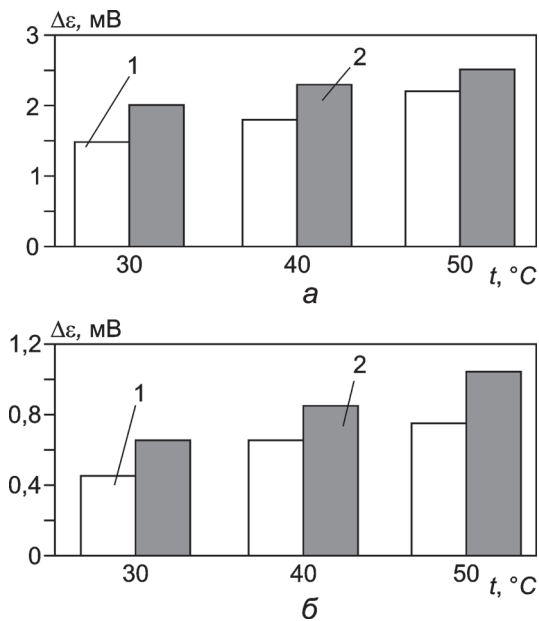


Рис. 3. Зависимости термоЭДС от температуры t теплоносителя в теплосети при $h = 10; 30$ см (а, б, соответственно) без дефектов (1) и с дефектом изоляции (2)

Полученные результаты проверили на экспериментальной модели подземной теплоизоляционной конструкции. Экспериментальные измерения провели в узлах сеток, нанесённых на поверхность грунта с шагом 200 мм. Температуру теплоносителя (технической воды) в трубопроводе регулировали термостатом в пределах 30—50 °С. Толщину грунта h варьировали в диапазоне 10—30 см. Предварительные исследования проводили в бездефектном режиме, моделируя утечки теплоносителя на отдельных участках трубопровода (рис. 3).

По результатам выполненных экспериментов установлено превышение температуры на поверхности грунта в местах утечки теплоносителя.

ИТП-1М, ИТП-2М являются индикаторами состояния подземного теплопровода по характеру изменений теплового потока или температуры поверхности грунта над исследуемым теплопроводом. При диагностике оператор перемещает прибор вдоль теплотрассы, считывая показания, необходимые для вычислений плотностей потока теплового

излучения или температуры над осью теплотрассы. Данные сверяют со стандартными и строят графики для конкретного теплопровода. Полученная информация позволяет обнаруживать места утечки и повреждения изоляции.

Литература

1. Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С. Теплопередача. М.: Энергия, 1981.
2. Фарзани Н. Г., Ильясов Л. В., Азим-Заде А. Ю. Технологические измерения и приборы. М.: Высшая школа, 1989.
3. Геращенко О. А., Грищенко Т. Г. Теплотехнический индикатор диагностики теплотрасс ТИДТ-01. Каталог. Приборы для теплофизических измерений. Киев: Час, 1991.
4. Трикоз П. И., Менделеева Т. В. Прибор для неразрушающего контроля теплозащитного состояния подземных теплосетей // Вестник ТГТУ. 2002. Т. 8. № 1 С. 120—127.
5. А.с. 37716 РК. Прибор для измерения теплового потока / К. Кусаинов, В. Е. Гладков, Д. Ж. Карабекова // Изобретения. Полезные модели. 2001.
6. А.с. 27617 РК. Прибор для измерения теплового потока / Ю. Н. Антипов, Д. Ж. Карабекова // Изобретения. Полезные модели. 1999.
7. Kurytnik I, Nussupbekov B, Karabekova D, Zhargakova S. Thermal control method for the diagnosis of underground heating systems // Вестник Карагандинского государственного университета им. Е. А. Букетова. Серия физика. 2014. № 2 (74). С. 52—55.
8. Nussupbekov B. R., Karabekova D. Zh., Zhargakova S. S., Beisenbek A. Sh. Nondestructive testing for diagnostics of pipelines // Eur. Phys. J. 2012. V. 9. № 2 (18). P. 13—18.
9. Самсонов Г. Е. Датчики для измерения температуры в промышленности. Киев: Научная мысль, 1972.
10. Преображенский В. П. Теплотехнические измерения и приборы. М.: Энергия, 1970.
11. Антипов Ю. Н., Гизатуллин Т. Ш. Применение дифференциального включения термобатарей для контактных измерений температуры // В кн.: Люминесценция и теплофизика. 1980. С. 66—68.

Дата принятия 13.01.2016 г.