

ЖЫЛУ ФИЗИКАСЫ ЖӘНЕ ТЕОРИЯЛЫҚ ЖЫЛУ ТЕХНИКАСЫ ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА

УДК 536.33

Б.Р.Нусупбеков, Д.Ж.Карабекова, А.Ш.Курмангалиев

Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова (E-mail: karabekova71@mail.ru)

Теплометрические приборы для контроля и учета тепловой энергии

В статье показано, что широкое распространение для анализа состояния тепловой изоляции подземных трубопроводов получили тепловые методы неразрушающего контроля, в которых используется тепловая энергия, распространяющаяся в объекте контроля. Температурное поле поверхности объекта является источником информации об особенностях процесса теплопередачи. В статье описаны разработанные авторами несколько 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, тепловые приемники излучения, радиационные пирометры.

Одной из основных структур единиц автоматизированной системы экспериментальных исследований теплофизических процессов является блок измерения параметров теплофизических процессов. Требования к комплексу датчиков, составляющих блок, определяются основными параметрами исследуемых процессов. Основу данного блока составляют специально разработанные датчики теплового потока, тепловые приемники, позволяющие проводить измерения локальных и усредненных параметров теплофизических процессов в стационарном и нестационарном режимах. Тепловые методы неразрушающего контроля получили широкое распространение применительно к различного рода защитным покрытиям, для анализа состояния тепловой изоляции подземных трубопроводов, плавильных печей и т.д.

Тепловой метод неразрушающего контроля основан на регистрации возмущений, вносимых внутренними дефектами в регулярный (эталонный) характер распространения тепловых потоков в объекте контроля. На практике анализируют двумерное нестационарное распределение температуры на поверхности объекта контроля, причем информативными признаками скрытых дефектов являются локальные температурные сигналы или характерные времена теплопередачи.

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, непроваров, инородных включений и т.д., всевозможных отклонений физических свойств объекта контроля от нормы, наличия мест локального перегрева (охлаждения) и т.п.

Различают пассивный и активный тепловой контроль. При пассивном тепловом контроле анализ тепловых полей изделий производят регистрацией их собственного теплового излучения. Активный тепловой контроль предполагает нагрев объекта внешним источником энергии.

Основной характеристикой температурного поля, являющейся индикатором дефектности, служит величина локального температурного перепада. Координаты места перепада, его рельеф или, иными словами, топология температурного поля и его величина в градусах являются функцией большого количества факторов. Эти факторы можно подразделить на внутренние и внешние. Внутренние факторы определяются теплофизическими свойствами контролируемого объекта и дефекта,

а также их геометрическими параметрами. Эти же факторы определяют временные параметры процесса теплопередачи, в основном процесса развития температурного перепада. Внешними факторами являются характеристики процесса теплообмена на поверхности объекта контроля (чаще всего величина коэффициента конвективной теплоотдачи), мощность источника нагрева и скорость его перемещения вдоль объекта контроля.

Основным информационным параметром при тепловом контроле является локальная разность температур между дефектной и бездефектной областями объекта. Знак перепада зависит от соотношения теплофизических свойств дефекта и изделия и исследуемой поверхности. При нагреве изделий, содержащих дефекты, плохо проводящие тепло, перепад положителен для поверхности, подвергнутой нагреву (т.е. место дефекта характеризуется локальным повышением температуры), и отрицателен для противоположной стороны. В случае дефекта, проводящего тепло лучше основного изделия (металлические вкрапления), знак перепада изменяется на обратный.

Временной ход перепада характеризуется кривой с максимумом. Это заставляет в каждом конкретном случае оптимальным образом выбирать момент регистрации температурного перепада. Величина температуры зависит от тепло- и теплопроводности изделия и дефекта и глубины залегания дефекта.

Среди различных применений датчиков теплового потока особое место занимает контроль состояний тепловой изоляции трубопроводов с теплоносителями. Такой контроль может проводиться с помощью измерителей тепловых потерь, содержащих первичный термоэлектрический преобразователь теплового потока, теплоприемник и электронный блок преобразования измерения сигнала.

Для решения рассмотренных задач нами разработано несколько модификаций датчиков теплового потока, показания которых не зависят от изменения состояния окружающей среды [патенты]. 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 [3].

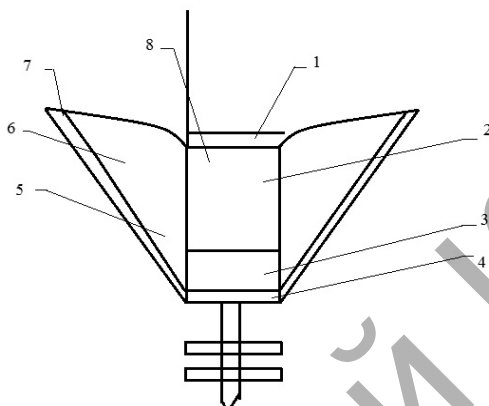
В одной из модификаций датчиков теплового потока «активные» спаи термоэлектрического преобразователя имеют тепловой контакт с приемной пластиной, а «пассивные» спаи — с нагревательным элементом, температура которого контролируется термозависимым элементом. Такая конструкция позволяет совместить функции двух термометрических блоков в одном. При подготовке прибора 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.

В другой модификации датчиков теплового потока нагревательный элемент заменен термоэлектрическим холодильником, «холодные» спаи которого совмещены с радиатором, а «горячие» имеют тепловой контакт с термоэлектрическим преобразователем теплового потока. Через термоэлектрический холодильник пропускается электрический ток такой величины, чтобы сигнал на выходе термоэлектрического преобразователя был равен нулю, если приемная пластина имеет контакт с исследуемым объектом в области отсутствия дефектов тепловой изоляции. Таким образом, тепловой поток, создаваемый термоэлектрическим холодильником в направлении термоэлектрического преобразователя, является реперным. С этим потоком сравниваются тепловые потоки в областях, где имеют место дефекты тепловой изоляции.

В третьей модификации датчиков теплового потока нагревательный элемент одновременно выполняет функции приемной пластины. Данная модификация подразумевает калибровку прибора по методу замещения теплового потока от исследуемого объекта тепловым потоком, выделяемым в нагревательном элементе при пропускании по нему электрического тока.

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.

Основным элементом данного теплометрического датчика является слоистый чувствительный элемент батарейного типа (рис. 1). Тепловой поток через защитную пленку 1 поступает на чувствительный элемент 2. Горячие спаи термобатареи имеют тепловой контакт с защитной пленкой, а холодные спаи — с термостабилизатором 3. В данном случае роль термостабилизатора выполняет массивное тело, передающее далее тепловой поток через дно корпуса 4 к радиатору 5. Для исключения теплоотдачи с боковой поверхности чувствительный элемент окружен теплоизолятором 6. Вся система замыкается конусообразной боковой поверхностью 7.



1 — защитная пленка; 2 — чувствительный элемент; 3 — термостабилизатор; 4 — дно корпуса; 5 — радиатор; 6 — теплоизолятор; 7 — боковая поверхность; 8 — калибровочная обмотка

Рисунок 1. Схематическое изображение теплометрического датчика

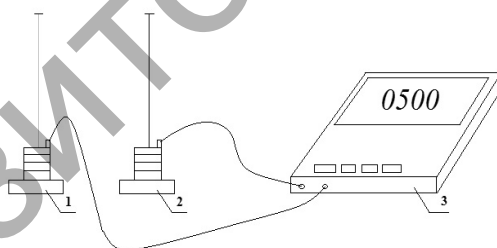


Рисунок 2. Блок-схема теплометрического датчика

Прибор является индикатором состояния подземного теплопровода по характеру изменения тепловых потерь или температуры поверхности грунта над исследуемым теплопроводом. Индикатор состоит из теплометрического блока и электронного малогабаритного показывающего устройства с автономным батарейным электропитанием (рис. 2). Основным элементом теплометрического блока — теплометрический батарейный преобразователь теплового потока. В процессе тепловой диагностики индикатор перемещается оператором вдоль оси прокладки теплотрассы. Считываются показания, по которым вычисляются либо плотность потока теплового излучения, либо температуры. По результатам вычислений строятся распределения плотностей потока теплового излучения или температуры над осью теплотрассы. Аналогичные эпюры строятся по справочным данным для конкретного вида прокладки. Анализ эпюр позволяет обнаруживать места течи и повреждения изоляции.

С целью проверки работоспособности метода в лабораторных условиях исследовалось температурное поле деревянного щита размерами 1500×2000×20 мм, нагреваемого с противоположной стороны излучением муфельной печи ($t = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$), расположенной от щита на расстоянии 2 м, 3 м. На щите наносилась сетка с шагом 200 мм, измерения проводились в узлах сетки. Зависимость отно-

сительного сигнала теплотрического датчика (отношение текущего сигнала к максимальному) от координат сетки приведена на рисунке 3.

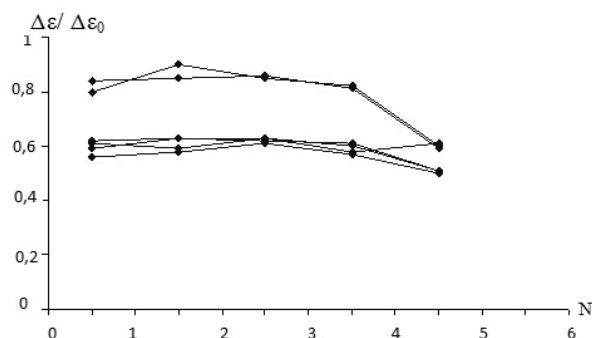


Рисунок 3. Зависимость относительного сигнала теплотрического датчика от координат сетки

На горизонтальной оси отмечены номера точек слева направо. Цифры на кривых соответствуют номерам горизонтальных линий от верхнего края щита к нижнему. Проведенные измерения подтверждают возможность использования предложенного теплотрического датчика для реализации теплового метода неразрушающего контроля.

References

- 1 Gerashchenko O.A. Heat indicator metric diagnosis of heat TIDiT-01 / O.A.Geraschenko, T.G.Grishchenko // Equipment for thermal measurements: directory. — Kiev: Hour, 1991. — P. 19.
- 2 Antipov Y., Karabekova D.Zh., Akhtanova M.K., Imanasova N.V. Instruments for measuring the energy performance of thermal processes. KSTU news. — Kaliningrad, 2005. — № 7. — P. 241–245.
- 3 Antipov Y.N. Measurement of pulsed light. — Karaganda, 1981. — 94 p.
- 4 A.S. 27617 RK 1999. A device for measuring heat flow. Antipov Yu.N, Karabekova D.Zh.
- 5 A.S. 37716 RK 2001. A device for measuring heat flow. Kusaiynov K., Gladkov V.E., Karabekova D.Zh.

Б.Р.Нүсіпбеков, Д.Ж.Қарабекова, А.Ш.Құрманғалиев

Жылулық энергияны бақылауға әрі есептеуге арналған жылуөлшегіш аспаптар

Бақылаудың жылулық әдістемесі жерасты құбыр өткізгіштерінің жылулық окшаулық кезіндегі талдаулары үшін кең қолданыс табууда. Бақылаудың жылулық әдістемесінде бақылау нысанасында таралатын жылулық энергия қолданылды. Объект бетінің температуралық өрісі жылу берілу процесінің ерекшеліктері туралы ақпарат көзі болып есептеледі. Мақалада біз жасаған жылулық ағын құрылғыларының бірнеше модификациялары сипатталған. Бұл аспаптардың ортақ элементі жылулық ағынның жылуэлектрлік түрлендіргіш рөлін орындайтын арнайы конструкциялы батареялы жылуэлектрлік құрылғы болып табылады.

B.R.Nussupbekov, D.Zh.Karabekova, A.Sh.Kurmangaliyev

Heat metric instrument for control and accounting of heat

Thermal methods of nondestructive testing are widely used for the analysis of the thermal insulation of underground pipelines. In heat methadone 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.