

ПРИБОР ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТЕПЛОЗАЩИТНОГО СОСТОЯНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ТЕПЛОСЕТЕЙ

П.И. Трикоз, Т.В. Менделеева

Институт технической теплофизики, НАН Украины

*Представлена членом редколлегии профессором С.В. Мищенко,
членом редколлегии спецвыпуска профессором С.В. Пономаревым*

Ключевые слова и фразы: изоляция; неразрушающий контроль; теплопровод; теплопотери.

Аннотация: Представлен прибор, реализующий теплотметрический метод определения теплозащитных свойств подземных теплопроводов, не требующий вскрытия грунта. Приведены результаты обследований действующих теплосетей.

Обозначения	
<p>T – температура, °С; q – плотность теплового потока, Вт/м²; x, y – декартовы координаты; Γ – контуры границ сопряжения.</p>	<p style="text-align: center;">Сокращения</p> <p>ПК – персональный компьютер; ПСИ – пирометр суммарного излучения; ПТП – преобразователь теплового потока; ПСУ – пирометрическое сканирующее устройство; ТИДиТ – теплотметрический индикатор диагностики теплотрасс; ТК – тепловая камера; ТСМ-100М – термометр сопротивления медный.</p>
<p style="text-align: center;">Индексы</p> <p>гр - грунт; из - изоляция; q - плотность теплового потока.</p>	

Обширная практика обследования подземных теплосетей показала, что наиболее полно всем требованиям их технической диагностики удовлетворяют методы, основанные на наблюдении за температурным состоянием теплопроводов. Наиболее эффективным среди них является метод неразрушающего контроля состояния тепловой изоляции бесканальных теплопроводов, основанный на сравнении расчетных и экспериментальных значений распределения температуры на поверхности грунта (покрытия) над теплосетями [1, 2].

Однако, аппаратную базу этого метода составляют стандартные средства температурных измерений, зачастую не обеспечивающие необходимую чувствительность для решения поставленных задач диагностики.

Анализ результатов экспериментальных обследований участков бесканальных и канальных сетей, проведенных в условиях различных режимов их эксплуатации и климатических воздействий, показал, что во всех случаях неразрушающего контроля определяемая величина плотности потока теплового излучения является более информативным показателем теплообмена, количественно характеризующим любое изменение температурного следа на поверхности грунта, чем температура этой поверхности.

В этой связи особую актуальность приобретает проблема усовершенствования данного метода путем создания специализированных теплотметрических приборов и устройств, обеспечивающих необходимую точность неразрушающего контроля теплозащитных свойств подземных теплопроводов бесканальной и канальной прокладки, а также в полной мере соответствующих всем требованиям стандартизации и метрологии.

С целью установления возможности такого теплотметрического контроля определено влияние на характер распределения теплового излучения с поверхности грунта и ее температуры величины дополнительного термического сопротивления теплоизоляционной конструкции канальных теплопроводов. Для этого были выполнены расчетно-аналитические исследования температурных полей в системе «массив грунта – изоляция – трубопровод» и в системе «массив грунта – канал трассы – изоляция – трубопровод».

Математическая формулировка данной задачи сводится к решению классического уравнения теплопроводности в полуограниченном массиве окружающего тепло-трассу грунта при сопряженных граничных условиях. Иными словами, ее полную теоретическую постановку можно сформулировать так: определить взаимосвязанные температурные поля грунта $T_{гр}$ в полуплоскости $-\infty < x < \infty$, $\infty < y < 0$ и массива теплоизоляции $T_{из}$ обоих теплопроводов (подающего и обратного), ограниченных контурами окружностей Γ_1 и Γ_2 , Γ_3 и Γ_4 (для бесканальной прокладки). Для случая канальной прокладки учитывается дополнительная изоляция, обусловленная формой канала и его материалом. Задача переноса теплоты представляется двухмерной и решается для режима работы каждого рассматриваемого участка теплотсети для областей "грунт" и "тепловая изоляция".

Установившийся процесс теплообмена в каждой из этих областей описывается дифференциальными уравнениями Лапласа с соответствующими граничными условиями, которые учитывают условия сопряжения.

С целью оперативного решения задач теплопроводности для расчета теплоточных и температурных полей вокруг теплоттрасс бесканальной и канальной прокладки составлены вычислительные программы, реализуемые на ПК.

Выполненные с помощью вычислительных программ сравнительные расчеты температурных полей двухтрубных теплоттрасс в грунте наглядно показали, что значения полных термических сопротивлений канальных и бесканальных теплопроводов отличаются не более чем в 1,4 раза в зависимости от конструктивных и технических параметров рассматриваемых участков. Это подтверждает возможность использования для неразрушающей диагностики теплопроводов теплотметрических приборов и устройств.

Теоретически и экспериментально обоснованный теплотметрический метод позволяет решить две задачи. Первая задача заключается в оперативной локализации мест течей теплоносителя, что осуществляется путем определения аномальных значений поверхностной плотности теплового излучения или температуры над обследуемыми прокладками теплотсетей. Вторая – сводится к определению участков теплотсетей с поврежденной или увлажненной тепловой изоляцией теплопроводов, а также неудовлетворительным состоянием их ограждающих конструкций, что осуществляется путем сравнения измеренных значений распределения теплового излучения с поверхности грунта над теплопроводами или ее температуры с расчетными значениями. При этом измерение контролируемых величин осуществляется как непосредственно над осью трассы, так и вне зоны ее теплового воздействия. Таким образом, данный способ измерений включает в себя также информацию о тепловом состоянии естественного массива Земли, что должным образом отражается на достоверности проводимой диагностики [2].

Для практической реализации метода в ИТТФ НАН Украины разработана группа приборов, позволяющая по характеру изменения тепловых потерь и температуры грунта над обследуемыми теплотсетями оперативно и с незначительными затратами определять места утечек теплоносителя в окружающую среду, а также своевременно определять участки теплопроводов с неудовлетворительным состоянием их теплоизоляционных и ограждающих конструкций.

В числе первых экспериментов, проведенных на теплотсетях бесканальной прокладки, применялись портативные низкотемпературные пирометры суммарного излу-

чения моделей ПСИ-11, ПСИ-12 и ПСИ-14, отличительной особенностью которых является возможность одновременной регистрации двух основных составляющих энергетического баланса обследуемых поверхностей: температуры и плотности потока теплового излучения [3].

Однако экспериментальная проверка пирометров показала, что, в силу недостаточной чувствительности к менее нагретым поверхностям над каналными теплоотражателями, их эффективное действие ограничено проведением контроля только участков бесканальных теплопроводов.

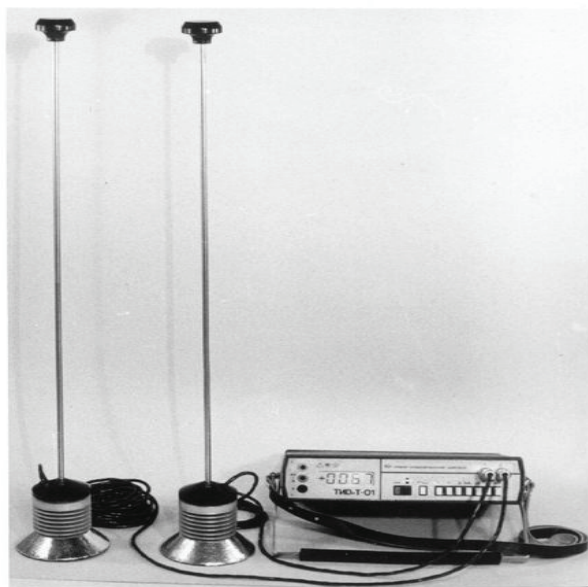


Рис. 1 Внешний вид модели прибора ТИДиТ-01

С учетом этого на базе оптимизированных по чувствительности первичных преобразователей теплового потока (ППП) конструкции ИТТФ НАН Украины было спроектировано и изготовлено пирометрическое сканирующее устройство ПСУ-01 с требуемыми по условиям диагностики техническими характеристиками [4].

В процессе испытаний устройства ПСУ-01 был выявлен ряд недостатков, касающихся основным образом его эксплуатационных возможностей. В результате было установлено, что повышенная чувствительность к механическим воздействиям тонкопленочных ППП, а также значительные габаритные размеры устройства в нередких случаях отрицательно отражались на эффективности проводимых обследований.

В этой связи, с учетом замечаний и рекомендаций специалистов и обслуживающего персонала тепловых сетей, были разработаны и изготовлены следующие средства диагностики теплосетей бесканальной и каналной прокладки, выполненные в двух модификациях. Это теплотрические индикаторы диагностики теплоотражателей - ТИДиТ-01 и ТИДиТ-02 [5, 6, 7].

Прибор ТИДиТ-01 предназначен для обнаружения локальных мест утечек теплоносителя в окружающую теплопровод среду, а также определения состояния тепловой изоляции и ограждающих конструкций теплопроводов подземных теплосетей. Модель прибора ТИДиТ-01, внешний вид которого представлен на рис. 1, состоит из следующих функционально объединенных частей: теплотрического узла, включающего в себя два идентичных теплотрических блока, и блока преобразования со встроенным источником питания.

Основное назначение модификации прибора ТИДиТ-02 определяется применением в качестве средства локализации мест течей, не исключая также возможности его использования по функциональному назначению модели ТИДиТ-01.

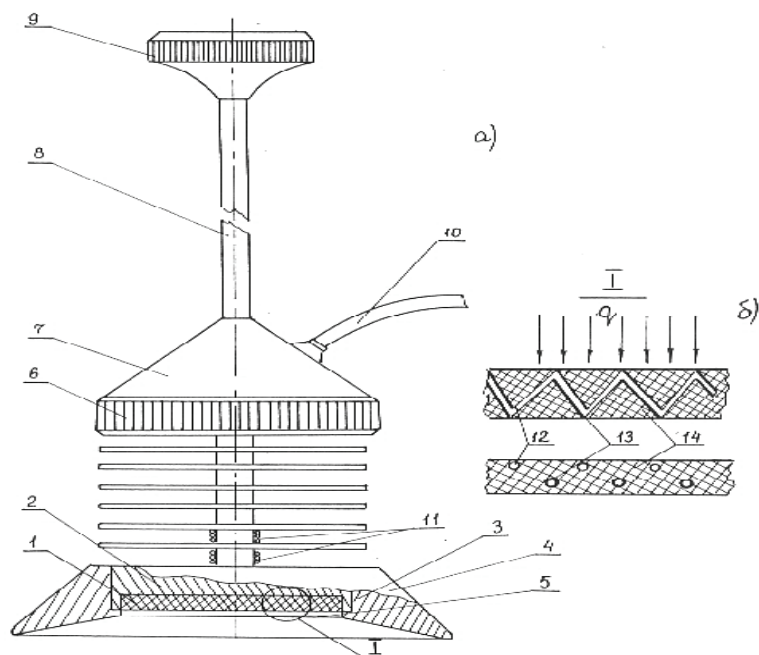


Рис. 2 Устройство теплотрического блока (а) и схема термоэлектрического батарейного преобразователя теплового потока (б):

- 1 – термоэлектрический батарейный преобразователь теплового потока;
 2 – корпус теплотрического блока; 3 – защитная бленда; 4 – экран;
 5 – полиэтиленовая пленка; 6 – накидная гайка; 7 – крышка; 8 – держатель; 9 – рукоятка;
 10 – кабель; 11 – преобразователь температуры (ТСМ 100М); 12 – основной термоэлек-
 трод;
 13 – гальванически нанесенный слой парного термоэлектродного материала;
 14 – электроизоляционный компаунд

Теплотрический блок, устройство которого представлено на рис. 2, предназна-чен для получения первичной измерительной информации от объекта контроля.

Его корпус 2 представляет собой тепловоспринимающее тело цилиндрической формы, один торец которого выполнен в виде оребренной поверхности теплообмена с целью обеспечения изотермичности при проведении измерений, а на другом конце установлена ограждающая конструкция (защитная бленда) 3, снабженная металличе-ским экраном 4 и оснащенная полиэтиленовой пленкой 5, предохраняющей теплочув-ствительный элемент 1 от воздействия посторонних источников теплового излучения. В качестве теплочувствительного элемента применяется термоэлектрический батарей-ный (многоспайный) ПТП, характеризующийся высокой плотностью заполнения (до 2000 единичных элементов на квадратном сантиметре при высоте батареи около 1 мм), рабочие и опорные спаи которого расположены в двух плоскостях параллельных рабочим поверхностям тепловоспринимающего тела.

Единичный термоэлектрический элемент, схема которого показана на рис. 2, б, представляет собой комбинацию из восходящей 12 и нисходящей 13 ветвей, простран-ство между которыми заполнено электроизоляционной массой - эпоксидным компа-ундом 14 [8, 9].

Поставленные задачи исследований обуславливают необходимость измерения плотности потока теплового излучения интенсивностью от 5 до 5000 Вт/м². Расчет всех данных для получения необходимой чувствительности, обеспечивающей измерение указанных потоков с большой точностью, показал, что теплочувствительный элемент должен быть изготовлен высотой 1,0 мм, диаметром приемной площадки 50 мм из проволоки сечением 0,05 мм. При этом значение рабочего коэффициента преобразователя k_q должно находиться в пределах от 5,0 до 10,0 Вт/(м²·мВ), а значение электрического сопротивления преобразователя должно быть в пределах 14 – 18 КОм. Такой тип преобразователя сравнительно прост и удобен в применении, имеет небольшие габариты, не селективен в широком спектральном диапазоне, обладает высокой чувствительностью, надежно работает в жестких условиях эксплуатации.

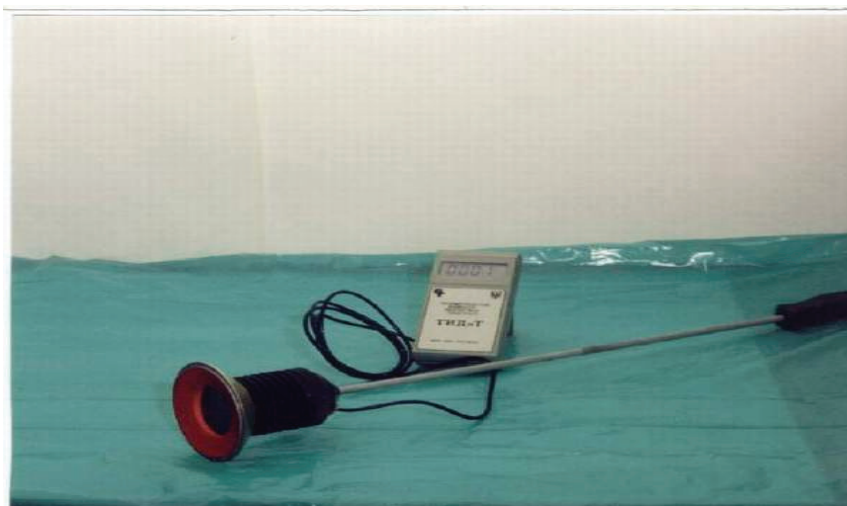


Рис. 3 Внешний вид модели прибора ТИДиТ-02

На рис. 3 представлен общий вид модели прибора ТИДиТ-02, представляющей собой совокупность теплотметрического блока и показывающего устройства. На поверхности теплотметрического блока смонтированы ПТП и преобразователь температуры (ТСМ 100М), предназначенный для определения температуры отнесения, необходимой для проведения расчетов.

Для удобства эксплуатации теплотметрические блоки рассматриваемых моделей ТИДиТ закреплены в держателях 8 (рис. 2) и соединены с блоком обработки и отображения информации гибкими кабелями связи 10 длиной не менее 1200 мм.

Экспериментальная проверка метода неразрушающей диагностики была осуществлена посредством обследования участков канальных теплосетей с различными техническими характеристиками, гидрогеологическими условиями эксплуатации и в условиях различных климатических воздействий. Общая протяженность экспериментальных участков составила 1145 м.

В качестве примера на рис. 4 представлены результаты диагностики участка теплосети посредством применения прибора ТИДиТ-02 с целью определения места течи. Следует отметить, что данная задача осложнялась наличием сетевой воды в канале обследуемой трассы, о чем свидетельствовало заполнение водой тепловых камер ТК 261/19 и ТК 261/20.

Диагностика была проведена при температурах теплоносителя в подающем теплопроводе 80 °С; обратном 55 °С; наружного воздуха 17,5 °С; при скорости ветра до 8 м/с.

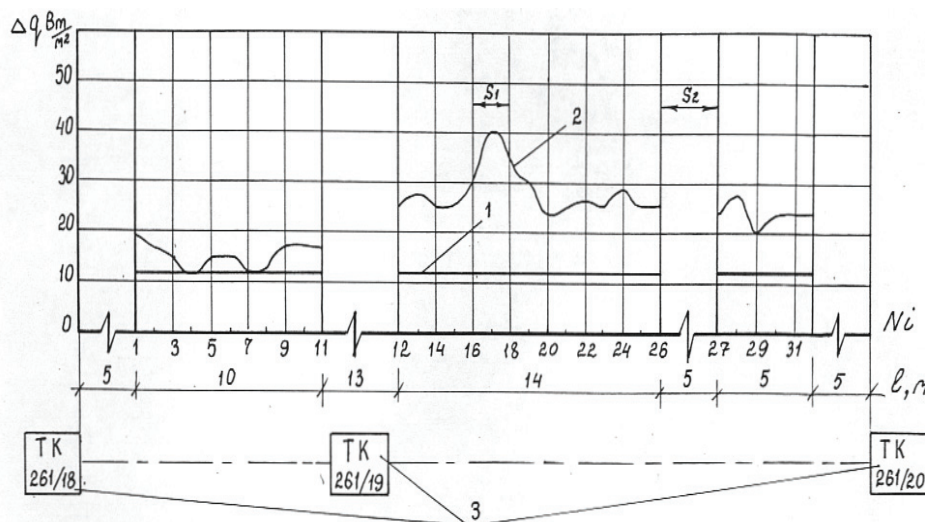


Рис. 4 Распределения результирующего значения плотности потока теплового излучения Δq вдоль оси теплотрассы (ул. Карбышева):

- 1 – нормальное состояние тепловой изоляции;
 2 – экспериментальные значения величины Δq ; 3 – тепловая камера;
 S_1 – место повреждения трассы; S_2 – участок, недоступный обследованию

Как видно из рис. 4, эпюр 2, построенный на основании результатов проведенных измерений, расположен значительно выше эпюра 1, определяющего расчетные значения величины результирующего значения плотности теплового потока Δq на отрезке трассы между тепловыми камерами ТК 261/19 и ТК 261/20. Наличие на эпюре 2 пиковой зоны S_1 позволило сделать вывод о предполагаемом месте повреждения теплопровода, что было подтверждено результатами вскрытия участка сети.

Апробация метода теплотрической диагностики показала надежную работу созданных приборов и устройств в естественных метеорологических условиях, высокую чувствительность к радиационному излучению слабо нагретых поверхностей, что обеспечило уверенный контроль рассмотренных участков сетей даже при сравнительно глубоком заложении теплопроводов (до 2,5 м) и невысокой температуре теплоносителя (около 70 °С).

По результатам выполненных экспериментальных исследований установлена вариация величин превышения плотности теплового потока и температуры на поверхности грунта (покрытия) над местами течей теплоносителя в зависимости от степени повреждения трубопроводов в пределах от 30 до 120 Вт/м² (от 5 до 20 К), а также над участками сетей с нарушенной, сильно увлажненной изоляцией или разрушенными ограждающими конструкциями теплопроводов в пределах от 20 до 30 Вт/м² (3-5 К) соответственно.

По результатам проведенных расчетов представлена ПК-программа, не требующая применения сложной вычислительной техники и обеспечивающая пользователю необходимую обработку полученных результатов обследований.

Все полученные результаты оформлены в виде рекомендаций и представлены службам эксплуатации тепловых сетей в качестве ориентировочных данных по диагностике мест нарушений теплозащитных свойств теплопроводов подземной прокладки.

Список литературы

1. Тихомиров А.Л. Тепловой метод неразрушающего контроля состояния изоляции бесканальных теплопроводов: Дисс. ... канд. техн. наук. - Киев, 1985.

2. Тихомиров А.Л., Иванов В.В., Трикоз П.И. Совершенствование метода неразрушающего контроля состояния изоляции бесканальных теплопроводов // МежВУЗ. сб. "Комплексное использование тепла при проектировании и строительстве промышленных предприятий". Ростов-Дон, 1987. - 116 с.

3. Тихомиров А.Л., Иванов В.В., Сажина С.А., Трикоз П.И. Использование пирометров суммарного излучения при неразрушающем контроле тепловой изоляции теплопроводов // Промышленная теплотехника. Киев. - 1987. - Том 9, № 3. - С. 77 - 80.

4. Геращенко О.А., Трикоз П.И., Шунько И.О. Бесконтактная диагностика теплового состояния подземных теплотрасс // Тр. Всес. конф. "Методы и средства теплофизических измерений". - М. - 1987. - С. 5.

5. Геращенко О.А., Трикоз П.И., Еремина А.К. Бесконтактная диагностика теплового и температурного состояния подземных теплотрасс // Тр. Всес. конф. по радиационному теплообмену "Проблемы экологии, надежности и энергосбережения". - М. - 1991. - С. 4.

6. Трикоз П.И., Грищенко Т.Г., Шаповалов В.И. Теплометричний індикатор діагностики теплотрасс (ТІДіТ-01) // Експрес-новини/ наука, техніка, виробництво. - 1996. - № 1-2.

7. Трикоз П.И., Мазуренко О.Г. Підземні теплопроводи // Харчова і переробна промисловість. - Київ: Нива. - 1997. - С. 2.

8. Температурные измерения: Справочник // Геращенко О.А. - К: Наук. думка, 1984. - 494 с.

9. Геращенко О.А., Грищенко Т.Г. Разработка основ теплотрии и ее приложений к определениям свойств веществ, энергетических эффектов, измерению физических параметров // Отчет по теме 0.11 ИТТФ АН УССР. Киев. -1975. С. 8-30 (М.: ВНИИМ Центр, № Гос. рег.5.72008158).

Device for Non-destructive Control of Heat Shield Condition of Underground Heat-supply Systems

P.I. Trikoz, T.V. Mendeleeva

Institute of Technical Thermal Physics, NAS Ukraine

*Represented by Member of Editorial Board Professor S.V. Mishchenko and Member
of Editorial Board Professor S.V. Ponomarev*

Key words and phrases: isolation; non-destructive control; heat line; heat losses.

Abstract: Device applying heat measurement method of determining heat shield properties of underground heat lines and non-requiring ripping of ground is presented. Results of working heat-supply systems examination are given.

Gerät für die ununterbrochene Kontrolle des wärmeschützigen Zustandes der unterirdischen Wärmenetze

Zusammenfassung: Es ist das Gerät dargestellt, das die wärmemetrische Methode der Bestimmung der wärmeschützigen Eigenschaften der unterirdischen Wärmeleitungen verwirklicht und keine Bodenfreilegung fordert. Es sind die Ergebnisse der Untersuchung der funktionierenden Wärmenetze angeführt.

**Appareil pour le contrôle non destructif de l'état de la protection thermique
des réseaux thermiques souterrains**

Résumé: On a présenté l'appareil réalisant la méthode thermométrique de la définition des propriétés de la protection thermique de la conduite qui ne demande pas de soulever le sol. On a cité les résultats des études des réseaux thermiques qui fonctionnent.
