

УДК 697.4:681.12.08

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ МЕТКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СКОРОСТИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В СИСТЕМЕ ОТОПЛЕНИЯ

ЧЕРНОЙВАН А. А. ^{1*}, *ассист.*,
БОГОМОЛ Д. Е. ², *бакалавр*

^{1*} Кафедра системного анализа и моделирования в теплогазоснабжении, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, Днепр, 49600, Украина, тел. +38 (056) 756-33-49, e-mail: chernovivan@i.ua, ORCID ID: 0000-0003-0406-0601

² Кафедра системного анализа и моделирования в теплогазоснабжении, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, Днепр, 49600, Украина, тел. +38 (096) 765-58-61, e-mail: bogomoldima1992@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0955-9065

Аннотация. Постановка проблемы. При анализе и контроле параметров водяной системы отопления уместно использовать методы прямого замера скорости воды в трубопроводах. В процессе эксплуатации существующей системы желательнее, чтобы не дополнительно монтировать врезные приборы, а применять только накладные приборы и датчики. Этим требованиям удовлетворяет вариант измерения скорости теплоносителя меточным методом. Он заключается в измерении температуры теплоносителя термодатчиками, которые устанавливаются на поверхности теплопровода (трубы) по ходу теплоносителя. **Цель** исследования – экспериментально подтвердить возможность применения тепловой метки для оценки скорости теплоносителя в трубопроводной водяной системе отопления. **Методика.** Построена экспериментальная установка для исследования перемещения тепловой метки, переносимой теплоносителем. Для контроля использовалась солевая метка, с измерением электропроводности. Измерения проводили на трубах, диаметр, толщина стенки и срок службы, которые являются типичными для систем отопления. Результаты испытаний фиксировались многоканальным электронным самописцем. **Результаты.** Анализ показал, что при скоростях движения теплоносителя, типичных для водяных систем отопления, можно использовать тепловые метки для оценки скорости теплоносителя. **Научная новизна.** Показана возможность оценки расходов по нескольким участкам водяной системы отопления с помощью тепловых меток. **Практическая значимость.** Использование тепловых меток в водяных системах отопления позволит значительно повысить точность идентификации параметров тепловой сети в процессе эксплуатации. Этот метод определения скорости теплоносителя может конкурировать с традиционным способом измерений установки механических счетчиков, выигрывает своей компактностью, дешевизной и дает возможность мобильно проводить измерения в труднодоступных местах.

Ключевые слова: водяная система отопления; расход воды; экспериментальная оценка; гидравлические сопротивления; управление проектами

ПРО МОЖЛИВІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВОЇ МІТКИ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ШВИДКОСТІ ТЕПЛОНОСІЯ У СИСТЕМІ ОПАЛЕННЯ

ЧОРНОЙВАН А. А. ^{1*}, *асис.*
БОГОМОЛ Д. Є. ², *бакалавр*

^{1*} Кафедра системного аналізу та моделювання у теплогазопостачанні, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (056) 756-33-49, e-mail: chernovivan@i.ua, ORCID ID: 0000-0003-0406-0601

² Кафедра системного аналізу та моделювання у теплогазопостачанні, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (096) 765-58-61, e-mail: bogomoldima1992@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0955-9065

Анотація. Постановка проблеми. Для аналізу та контролю параметрів водяної системи опалення доречно застосувати методи прямого визначення швидкості води в трубопроводах. У процесі експлуатації існуючої системи бажано не додатково монтувати врізні прилади, а застосовувати тільки накладні прилади і датчики. Ці вимоги задовольняє варіант вимірювання швидкості теплоносія методом теплової мітки. Він полягає у вимірюванні температури теплоносія термодатчиками, які встановлюються на поверхні теплопроводу (труби) по ходу теплоносія. **Мета** дослідження – експериментально підтвердити можливість застосування теплової мітки для оцінювання швидкості теплоносія в трубопроводі водяної системи опалення. **Методика.** Побудовано експериментальну установку для дослідження переміщення теплової мітки, яку переносить теплоносій. Для контролю використовували сольову мітку, з вимірюванням електропровідності. Вимірювання проводили на трубах, діаметр, товщина стінки і термін служби яких типові для систем опалення. Результати випробувань фіксували багатоканальним електронним самописцем. **Результати.** Аналіз показав, що при швидкостях руху теплоносія, типових для

водяних систем опалення, можна використовувати теплові мітки для вимірювання швидкості теплоносія. **Наукова новизна.** Показана можливість оцінювання витрат на декількох ділянках водяної системи опалення за допомогою теплових міток. **Практична значимість.** Використання теплових міток у водяних системах опалення дозволить значно підвищити точність ідентифікації параметрів теплової мережі у процесі експлуатації. Цей метод визначення швидкості теплоносія може конкурувати з традиційним способом вимірювань установок механічних лічильників, виграє своєю компактністю, малою ціною і дає можливість мобільно проводити вимірювання у важкодоступних місцях.

Ключові слова: водна система опалювання; витрати води; експериментальна оцінка; гідравлічні опори; управління проектами

THE POSSIBILITY OF USING THERMAL MARK FOR ESTIMATING RATE OF COOLANT IN THE HEATING SYSTEM

CHERNOIVAN A.A.^{1*}, *ass.*,
BOHOMOL D.E.², *bachelor*

^{1*} Department of System Analysis and Modeling in Heat and Gas Supply, State Higher Education Establishment “Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Chernyshevskogo str., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-49, e-mail: chernoiwan@i.ua, ORCID ID: 0000-0003-0406-0601

² Department of System Analysis and Modeling in Heat and Gas Supply, State Higher Education Establishment “Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Chernyshevskogo str., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (096) 765-58-61, e-mail: bogomoldima1992@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-0955-9065

Abstract. Statement of the problem. When analyzing and controlling heating water system parameters, it is reasonable to apply direct analysis methods for water consumption in heating system pipelines. During exploitation of the existing system, it is preferable not to mount additional cut-in devices, but apply only attachable devices and sensors. The option of measuring heat-carrier speed by marking method satisfies these requirements. It involves measuring heat-carrier temperature by thermal sensors, installed on the surface of a heat pipeline (pipe) along the heat-carrier. The aim of the research is to confirm the possibility heat marking application to estimate heat-carrier speed in the pipeline heating water system experimentally. **Methods.** An experimental plant was established to study the movement of a heat marking, carried with a heat-carrier. For control we used a salt marking with measuring electric conductivity. The pipes with the diameter, wall thickness and service life typical for heating systems were used for measuring. Test results were recorded with a multichannel e-recorder. **Results.** The analysis showed that it was possible using heat markings to estimate heat-carrier speed at heat-carrier movement speeds, typical for heating water systems. **Scientific novelty.** Estimation of costs at several areas of the heating water system by means of heat markings can be used to clarify hydraulic regimes parameters of the complete heating system during exploitation. **Practical significance.** Usage of heat markings in heating water systems will allow to substantially increase parameter identification accuracy for heating network during exploitation. This method of heat-carrier speed determination can compete with the traditional way of measuring with mechanical counters, has an advantage of compactability, cheap price and gives an opportunity to conduct portable measurements in inaccessible areas.

Keywords: water heating system; flow meter; experimental estimation; hydraulic resistances; project management

Введение

Известен метод «математического расходомера» [5–7] для идентификации скорости в гидравлических цепях [1; 6] с сосредоточенными параметрами. Этот метод получил развитие [2; 3] при идентификации параметров трубопроводных сетей. Для повышения точности идентификации расходов целесообразно дополнительно прямо измерять часть расходов по участкам трубопроводной системы. Для прямого измерения расходов в водяной системе отопления в процессе эксплуатации привлекательно использовать метод тепловой метки измерения скорости [4].

Цель работы – экспериментально подтвердить возможность применения тепловых меток для оценки скорости воды по участкам трубопроводной системы.

Методика

Разработана экспериментальная установка, которая дает возможность исследования хода тепловой метки, переносимой потоком воды, которая движется внутри стальной трубы. Характерные параметры исследуемых труб – диаметр, толщина стенки трубы, срок эксплуатации участка трубы – типичны для реальных конструкций системы отопления. Обнаружение тепловой метки фиксировалось установленными снаружи труб тепловыми датчиками.

Через двухканальный вентиль поочередно подается горячая либо холодная вода. Для контроля, в экспериментальной установке специально размещены короткие (до 10 см) участки непроводящих пластиковых труб, в них вживлены металлические зонды I, II и III соответственно в самом начале, в середине и в конце испытательного участка. В качестве термодатчиков (т/д)

использовали полупроводниковые сопротивления, которые были установлены рядом с зондами на металлических участках труб. Расстояние между зондом I и т/д № 1 до зонда II и т/д № 2 – 5,2 м, расстояние от зонда II и т/д № 2 до зонда III и т/д № 3 – 5,3 м. Трубы на участках разные по степени изношенности. Для испытательного участка брали трубы ½ дюйма с 10...12-летним сроком эксплуатации; этим имитируется реальная ситуация жилого дома. Вторая по ходу труба заменялась металлопластиковой. Для задания различных величин расхода в конце участка установлен вентиль и сетевой насос. Гидравлическая схема эксперимента приведена на рисунке 1.

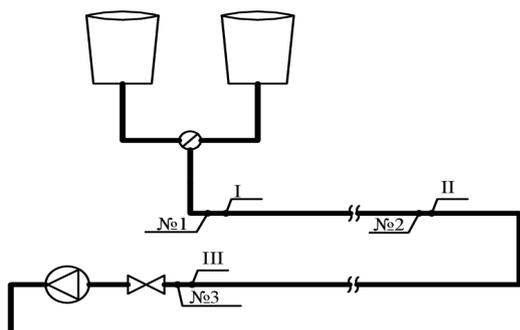


Рис. 1. Гидравлическая схема эксперимента / Fig. 1. Hydraulic scheme of the experiment

Расход в ходе экспериментов измерялся также по времени заполнения мерной емкости, примерно равной суммарному объему труб испытываемой системы.

Сигналы с зондов и с полупроводниковых сопротивлений поступают в схему регистрации. Термодатчики включены в диагональ моста, а зонды запитаны через измерительные резисторы от +5 в. Поваренную соль, которая резко увеличивает электрическую проводимость воды, добавляли в горячую воду.

Результаты испытаний фиксировались электронным многоканальным самописцем. На рисунке 2 показана часть осциллограммы, соответствующей подаче горячей воды (0,684 л/с), а затем холодной (0,765 л/с).

Кривые I, II и III – сигнал соответствующих зондов, а № 1, № 2 и № 3 – с термодатчиков. Анализ показывает, что время начала сигналов с зондов и термодатчиков в значительной степени синхронно. Задержка на прогрев толщины металлической трубы достаточно стабильна и составляет 2,0...2,5 с. Задержка между приходами теплой (соленой) воды и сигналом термодатчика увеличена для второй половины участка и растет по ходу трубы.

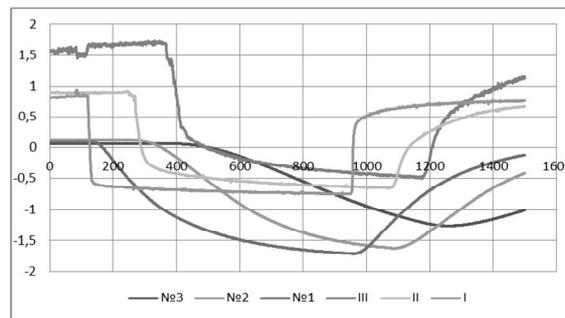


Рис. 2. Результаты, зафиксированные самописцем / Fig. 2. The results have been fixed by recorder

Осциллограммы фронтов затянуты, то есть имеет место размывание и солёности и снижение градиента температуры. Явление менее заметно при переходе от горячей воды к холодной. Следует заметить, что температура окружающего воздуха практически совпадала с температурой холодной воды из водопровода, что существенно снижало потери на излучение для холодной воды.

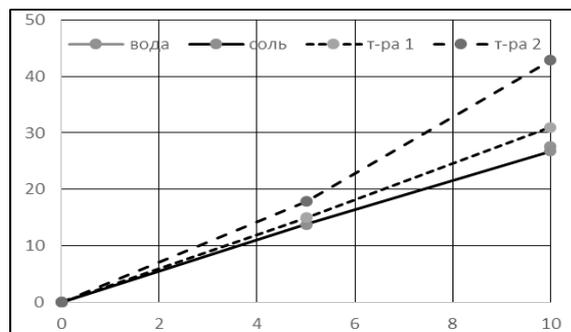


Рис. 3. Результат проведенных испытаний с подачей горячей воды / Fig. 3. The result of the tests with hot water supply

На рисунках 3 и 4 приведены примеры, полученные при подаче горячей воды после холодной и холодной воды после горячей соответственно. На рисунках также показано время прихода метки в секундах к соответствующим датчикам: солевой к зондам, а температурной метки – к термодатчикам.

По горизонтали отложена длина труб в метрах. Излом вниз на солевых графиках свидетельствует о несколько большей скорости в дальней трубе.

Расхождение графиков можно объяснить потерей тепла воды на нагрев трубы и таким образом, маскировкой головы горячего фронта и аналогично нагревом головы фронта холодной воды. Вторая по ходу труба новее, в ней меньше ржавчины на внутренних стенках, отсюда развитая турбулентность и, как следствие, активное перемешивание воды во фронтах.

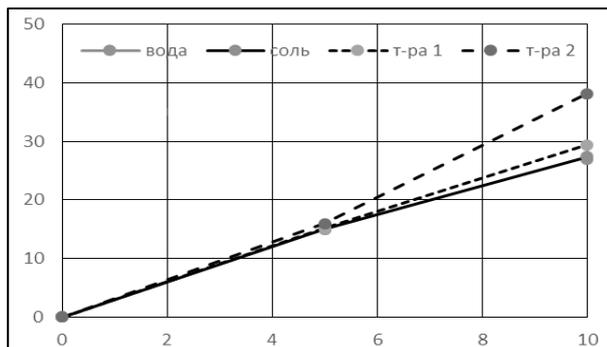


Рис. 4. Результат проведенных испытаний с подачей холодной воды: I, II, III – места установки зондов; № 1, № 2, № 3 – места установки термодатчиков / Fig. 4. The result of the tests with cold water supply: I, II, III – the place of installation of the probes; № 1, № 2, № 3 – installation location of temperature sensors

Верхние прерывистые графики на рисунках отражают ход меток по металлическим трубам, Средние прерывистые графики сняты для металлопластиковых труб, на них видны существенно меньшие потери тепла на нагрев-охлаждение труб. Сплошная линия – время прихода и ухода солевого проводящего фронта на трубе через зонды. Контрольные замеры по объёмному способу замера расхода воды практически совпадают с временем прохождения соли.

Проведенные эксперименты показали возможность измерения скорости, а, зная сечение участка трубопровода, – и расхода в водяной системе водоснабжения в условиях эксплуатации. Замеры можно проводить при пусках и остановке отопительного сезона или во время проведения

ремонтных работ. Метод тепловых меток обеспечивает 5 % точность замера скорости, если расстояние от точки пуска горячая-холодная вода минимально, а интервал между датчиками не более 5...6 м.

Результаты

Полученные результаты натурных экспериментов показывают хорошее совпадение измерений скорости теплоносителя методом тепловой метки с прямым измерением его расхода стандартными приборами, встроенными в экспериментальную установку.

Научная новизна и практическая значимость

Этот метод определения скорости теплоносителя может конкурировать с традиционным способом измерений типа «механический счетчик», выигрывая своей компактностью, дешевизной и возможностью мобильно проводить измерения в труднодоступных местах.

Выводы

На основе использования современных датчиков температуры появляется возможность без вмешательства в гидравлическую систему отопления здания или его частей доступными средствами контролировать и измерять параметры теплоснабжения в любых заданных точках и звеньях системы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Потокораспределение в инженерных сетях: монография / [А. Г. Евдокимов, В. В. Дубровский, А. Д. Тевяшев]. – Москва : Стройиздат, 1979. – 199 с.
2. Иродов В. Ф. Идентификация гидравлических сопротивлений трубопроводных сетей методом эволюционного программирования / В. Ф. Иродов, А. Н. Казин // Известия вузов. Нефть и газ. – 1982. – № 10. – С. 64–68.
3. Иродов В. Ф. Математическое обеспечение идентификации параметров водяных систем отопления в условиях эксплуатации / В. Ф. Иродов, А. М. Барковский // Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем. – Днепропетровск, 2012. – С.128–129.
4. Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики веществ : справочник / П. П. Кремлевский. – Кн. 2. – Киев : Политехника, 2004. – 412 с.
5. Меренков А. П. Методы и средства для управления эксплуатацией и развитием трубопроводных систем / А. П. Меренков, К. С. Светлов, В. Я. Хасилев // Оптимизация и управление в больших системах энергетики. – 1970. – Т. 1. – С. 60–80.
6. Теория гидравлических цепей: монография / [А. П. Меренков, В. Я. Хасилев]. – Москва : Наука, 1985. – 278 с.
7. Merenkov A. P. Direct and inverse problems of flow distribution in hydraulic circuits / A. P. Merenkov, N. N. Novitsky, V. G. Sidler // Soviet. Techno. Rev. Sec. Ai Energy Rev. / Harwood Academic Publishes. – U.S.A. – 1994. – Issue 7, part 4. – Pp. 33–95.

REFERENCES

1. Evdokimov A.G. and Dubrovskiy V.V. *Potokoraspredelenie v injenernih setyah* [Flow in engineering networks]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1987, 199 p. (in Russian).
2. Irodov V.F. and Kasin A.N. *Identifikaciya gidravlicheskih soprotivleniy truboprovodnih setey metodom evolucionnogo programirovaniya* [Identification of water supply systems hydraulic resistance by evolutionary programming method]. *Izv. vuzov. Neft i gas* [Proc. Higher Education. Oil and Gas]. 1982, no. 10, pp. 64–68. (in Russian).

3. Irodov V.F. and Barkovski A.M. *Matematicheskoe obespechenie identifikacii parametrov vodyanij system otopeniya v usloviyah ekspluatatsii* [Identification water heating parameters software under operating conditions]. *Matematichne ta programne zabezpechennya intelektualnih system* [Mathematical and software of intellectual systems]. Dnipropetrovsk, 2012, pp. 128–129. (in Russian).

4. Kremlevskii P.P. *Rashodomery i schetchiki veshestv* [Flow meters and substances counters]. Kyiv: Politehnika Publ., 2004, 412 p. (in Russian).

5. Merenkov A.P., Svetlov K.S. and Hasilev V.Ya. *Metody i sredstva dlya upravleniya ekspluatatsiey i razvitiem truboprovodnih system* [Methods and resources for operation controlling and developing of pipeline systems]. *Oprimizaciya i upravlenie v bolshih systemah energetiki* [Optimization and management of large-scale power systems]. 1970, pp. 60–80. (in Russian).

6. Merenkov A.P. and Hasilev V.Ya. *Teoriya hydravlicheskih cepey* [Hydraulic circuit theory]. Moscow: Nauka Publ., 1985, 279 p. (in Russian).

7. Merenkov A.P., Novitsky N.N. and Sidler V.G. Direct and inverse problems of flow distribution in hydraulic. *Soviet. Techno. Rev. Sec. Ai Energy Rev.* Harwood Academic Publishes, U.S.A., 1994, iss. 7, part 4, pp. 33–95.

Статья рекомендована к публикации докт. техн. наук, проф. В. Ф. Иродовым (Украина); докт. техн. наук, проф. А. С. Беликовым (Украина)

Поступила в редакцию 11.03.2017

Принята к печати 17.03.2017