

А.А. Владимирский, Киев
А.А. Безprozванный, Киев
И.А. Владимирский, Киев

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ТРУБОПРОВОДОВ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ БЕЗ ОТКЛЮЧЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Abstract. An approach to calculating heat losses in district heating networks is presented, based on the joint use of measurements by stationary means of heat energy metering and measurements of heat carrier parameters using mobile flow meters and specially developed high-precision temperature recorders at selected points of the heat network.

Актуальность, постановка задачи

Актуальность задачи создания методики, не требовательной к условиям определения тепловых потерь и при этом обеспечивающей получение достоверных результатов вызвана следующим.

Наиболее известная, утвержденная методика определения тепловых потерь [1] требует отключения потребителей от участка тепловой магистрали, создание специального режима работы теплосети с достаточно медленным движением теплоносителя для того, чтобы обычные термометры на пути следования "тепловой волны" по циркуляционному кольцу достоверно зафиксировали перепад температуры ΔT в начале и в конце участка, характеризующий имеющиеся на нем тепловые потери:

$$Q = c \cdot \Delta T \cdot G \quad (1)$$

где c – теплоемкость, G – массовый расход теплоносителя.

Данная методика имеет много нареканий и на практике испытания по ней проводятся редко ввиду ее трудоемкости и неудобств, вызванных необходимостью отключения потребителей и вывода испытываемого участка из эксплуатации на период испытаний. Это допустимо в не отопительный период, однако в это время персонал районов тепловых сетей в основном загружен испытаниями на плотность, поиском и устранением повреждений, другими плановыми и аварийными ремонтами оборудования тепловых сетей.

Существуют методики определения тепловых потерь в эксплуатационных условиях, основанные на установке на поверхности трубопровода измерителей тепловых потерь в местах установки [2, 3]. Результаты измерений могут дополняться результатами тепловизионного обследования грунта [2] над оборудованными таким образом опорными участками совместно с обследованием грунта над другими, не

оборудованными датчиками участками с целью распространения на них пропорционально температуре грунта измеренных тепловых потерь на опорных участках. Метод требует тщательного выбора погодных условий для инфракрасного обследования теплотрасс. При этом учитывает ли он разнообразие конвективной составляющей в каналах прокладки теплосети, регистрирует ли подтопления и если да то на какой глубине и при каких условиях, особенно частичные, с низу трубопровода, как сказывается разнообразие теплофизических характеристик грунта между его поверхностью и теплотрассой, что делать если поверхность под листовой или теплотрасса под строениями и т.п., обеспечивается ли корректность сравнения зеленая зона – асфальт и т.п. в разнообразных городских условиях, в грунтах с разным содержанием влаги, ведь никаких измерений на самом трубопроводе, дающих не локальную, а интегральную по общей длине трубопровода оценку тепловых потерь, насколько можно судить, не проводится. Возможно, по сравнению с определением теплопотерь на разветвленных сетях по другим существующим методикам, в виду недостатков последних, данный метод может дать лучшие результаты, но каких-либо количественных сравнений, хотя бы на модельных примерах, авторам найти не удалось.

Существуют методики определения тепловых потерь по показаниям стационарных узлов учета тепловой энергии, установленных на источнике тепловой энергии у ее потребителей [4, 5]. Идея в целом продуктивная, во всяком случае в перспективе, когда основное количество потребителей будет оборудовано данными устройствами. Пока же практические попытки определять в соответствии с [4] тепловые потери в г. Киеве по двум зонам теплоснабжения районных котельных сталкивались с трудностями сбора достаточного количества исходных данных. Причем не только из-за малой доли оборудованных теплосчетчиками потребителей (согласно требованию методики должно быть оборудовано не менее 20% потребителей по зоне теплоснабжения), но и по другим причинам: часть считанных архивов не прошли верификацию, по некоторым узлам учета отсутствовали средства считки архивов. Поэтому в настоящее время существует целесообразность дополнения данных со стационарных узлов учета тепловой энергии результатами измерений, полученными с помощью мобильных высокоточных измерительных средств в выбранных точках разветвленной тепловой сети. К недостаткам существующей методики также следует отнести слишком широкое, вынужденное из-за нехватки результатов измерений, применение нормативных значений тепловых потерь в расчетах фактических тепловых потерь. Вместе с тем, как будет показано дальше, в одних случаях этой вольности можно вообще избежать, а в других случаях уменьшить ее роль в расчетах благодаря применению достоверных результатов измерений, полученных с помощью высокоточных специализированных мобильных измерительных средств. Использование данных возможностей и является основной задачей разработки новой методики определения тепловых потерь.

Разработка методики определения тепловых потерь на магистральных трубопроводах тепловых сетей

С целью упрощения проведения испытаний и обеспечения возможности определять тепловые потери в соответствии с (1) для теплограсс, находящихся в эксплуатационных режимах работы, в ИТТФ НАН Украины, а затем в ИПМЭ им. Г.Е.Пухова НАН Украины были разработаны высокоточные регистраторы температуры ИМРТ-1 и РТ-1 [6,7] с разрешающей способностью 0,005°C и 0,031°C соответственно. Была проработана метрологическая поддержка измерений и утвержден соответствующий документ [8]. Приборы были испытаны и применялись в СОП "Контроль и диагностика" ПАТ "Киевэнерго". Точность данных приборов позволяла достоверно определять перепады температуры на некоторых, достаточно протяженных, участках магистральных трубопроводов, на которых отсутствовали потребительские отводы [6]. В данном, **первом случае**, тепловые потери определялись отдельно для подающего и обратного трубопроводов по (1) без каких-либо существенных допущений.

Однако, на основной массе тепломагистралей, не смотря на высокую точность регистраторов с калибровкой датчиков в калибровочном термостате после каждых испытаний и внесением соответствующих поправок в результаты измерений, все же мешали врезки, изменявшие расход на основной магистрали. Поэтому методику пришлось дорабатывать в направлении измерений тепловых потерь на участках с переменным расходом. Относительно просто это можно сделать, если участок тепломагистрали длиной L с $M-1$ отводами и соответственно состоящий из M участков со своими расходами, на всем своем протяжении имеет одинаковые тип прокладки, диаметр и, соответственно, примерно одинаковые удельные потери тепла. В этом, **втором случае**, для подающего трубопровода (1) можно переписать в виде (2) ввиду того, что постоянство удельных тепловых потерь по длине L означает постоянную скорость остывания $\frac{\Delta T_m}{\tau_m}$

теплоносителя не зависимо ни от участка m , ни от общего времени

$$\tau = \sum_{j=1}^M \tau_j \text{ пребывания теплоносителя в пределах длины } L \text{ трубопровода}$$

(случай нелинейности при существенном приближении температуры теплоносителя к температуре грунта не рассматривается).

$$Q = \sum_{m=1}^M Q_m = c \cdot \rho \cdot \sum_{m=1}^M V_m \cdot \frac{\Delta T_m}{\tau_m} \approx c \cdot \rho \cdot \sum_{m=1}^M V_m \cdot \frac{\sum_{i=1}^M \Delta T_i}{\sum_{j=1}^M \tau_j}, \quad (2)$$

где: Q_m – теплотери на m -том участке с постоянным расходом, ρ – плотность теплоносителя, V_m и ΔT_m – объем m -того участка соответствующий перепад температуры на его концах, τ_m – время прохождения теплоносителем m -того участка,

В результате (2) принимает рабочий вид:

$$Q = c \cdot \rho \cdot \sum_{m=1}^M V_m \cdot \frac{\Delta T}{\tau} = c \cdot \rho \cdot V \cdot \frac{\Delta T}{\tau}, \quad (3)$$

где: V , ΔT и τ – объем, перепад температуры на концах и время прохождения теплоносителем всего испытываемого участка соответственно.

При этом τ определяется по формуле:

$$\tau = \sum_{j=1}^M \tau_j = \rho \cdot \sum_{j=1}^M \frac{\pi \cdot d^2 \cdot L_j}{4 \cdot G_j}, \quad (4)$$

где: τ_j – время прохождения теплоносителем j -того участка, G_j – массовый расход теплоносителя по j -тому участку, d – проходной диаметр трубопровода, L_j – длина j -того участка трубопровода.

Данным способом можно определять тепловые потери только на подающем трубопроводе. На обратном трубопроводе подобное определение затруднено вливанием в него теплоносителя по $M-1$ врезкам со своими значениями температуры, из-за чего температура в обратном магистральном трубопроводе, в отличие от температуры в подающем, меняется не только в следствие тепловых потерь. Тепловые потери в обратном трубопроводе, учитывая примерно одинаковый срок и окружающие условия эксплуатации с подающим трубопроводом, могут быть определены путем пересчета по формуле:

$$Q_o = Q \cdot \frac{t_o - t_c}{t_n - t_c},$$

где: t_n , t_o и t_c – средние температуры теплоносителя в подающем трубопроводе, в обратном трубопроводе и грунта соответственно.

Ввиду уменьшения тепловой нагрузки с удалением магистрального трубопровода от теплового источника, уменьшаются расход по трубопроводу и его диаметр. В связи с этим, в районах с высокой плотностью застройки, с удалением от источника диаметр тепломагистрали меняется быстро и выбрать достаточно протяженный однородный участок, с отводами или без них, не удается. В этом, **третьем случае**, для обеспечения корректного измерения перепада температуры ΔT на концах участка тепловой магистрали, в испытываемый участок приходится включать не однородные участки, то есть участки с разными диаметрами, сроками эксплуатации, типами прокладок. В

этом случае, измеренного перепада температуры на концах сложного участка и известных расходов по нему, полученных из карты рабочих режимов тепловой сети либо измеренных расходомером, не хватает для определения тепловых потерь. Скорость остывания теплоносителя на разных по однородности частях испытуемого участка разная, а соответствующие им перепады температуры на их концах без изменения режима работы всей сети достоверно померить нельзя. Потому приходится использовать нормативные теплотери для однородных участков и пересчитывать их на температурные условия проведения измерений, получая предполагаемые тепловые потери. Можно попытаться приблизить предполагаемые тепловые потери к реальным с помощью дополнительных коэффициентов, учитывающих техническое состояние тепловой изоляции и ориентировочную усредненную влажность грунта при проведении измерений [9, 10]. По полученным предполагаемым потерям с учетом фактических расходов определяются предполагаемые перепады температуры на однородных частях участка и их суммированием – предполагаемый, основанный на нормативах, перепад температуры $\Delta T_{пред}$ для всего участка, для которого есть измеренное значение перепада ΔT . Далее определяется коэффициент пересчета предполагаемых теплотерь в фактические: $K = \frac{\Delta T}{\Delta T_{пред}}$.

Вынужденное комбинированное применение измеренных и нормативных данных при расчете фактических перепадов температуры и теплотерь распределяет влияние тепловых аномалий (реальных неоднородностей) по всему участку, на котором измерен перепад ΔT . Однако полный отказ от измерений данного, общего для всего участка перепада температуры и расчет фактических теплотерь только на основании пересчитанных нормативов не учитывает реальных аномалий совсем. Приведем пример.

Как правило, при проведении испытаний в г. Киеве величины ΔT и $\Delta T_{пред}$, а также измеренные, приведенные к среднегодовым условиям работы тепловой сети и соответствующие им нормативные теплотери различались не сильно – в пределах 30%. Но бывали случаи и существенного различия, например, однажды измеренный перепад превысил нормативный (предполагаемый) в 4 раза. По данной информации оперативно провели обход теплотрассы и нашли залитый участок холодной водой рядом со станцией мойки автомашин. Залитие тут же было устранено и результаты повторных испытаний через несколько дней показали обычное соотношение измеренных и нормативных параметров.

Заметим, что если бы измерения тепловых потерь проводилось без измерения перепада температуры на магистральном трубопроводе, а по разнице температуры между источником и некоторыми из потребителей с узлами учета по [4], то выявление подобной аномалии произошло бы с меньшей вероятностью, поскольку зависело бы от класса точности

имеющихся узлов учета, от времени следования теплоносителя от источника к узлу учета и соответствующей этому времени величины перепада температуры и т.д. При этом потери вследствие залития части тепломагистрали были бы методически распределены и по отводам потребителей. В результате не известно, была бы поднята тревога или потери от залития списали бы на естественное старение теплосети. А ведь есть попытки формирования и коэффициентов для переноса подобных результатов на не испытанные сети.

Выводы

1. Методику определения тепловых потерь с применением показаний стационарных узлов учета тепловой энергии целесообразно дополнить проведением измерений с помощью переносного метрологически аттестованного измерительного оборудования на магистральном трубопроводе и на вводах в выбранных точках для исключения значительных ошибок при измерении теплопотерь на разветвленной тепловой сети.

2. Ввиду того, что существующие и создаваемые методики определения тепловых потерь на разветвленных трубопроводах централизованного теплоснабжения, находящихся в эксплуатационных условиях, используют существенные допущения при определении фактических тепловых потерь, целесообразно сопровождать данные методики программами моделирования влияния на результаты расчетов возможных тепловых аномалий в конкретных случаях. Например, в следствие заливов каналов, отсутствия теплоизоляции при разной интенсивности конвективного теплообмена в каналах прокладки и т.д., с учетом точности имеющихся средств измерений. Это поможет оптимизировать схему проведения измерений, провести целенаправленные профилактические обследования критических участков и избежать существенных ошибок.

1. Методические указания по определению тепловых потерь в водяных и паровых тепловых сетях, МУ 34-70-080-84.-М.: Союзтехэнерго, 1985.

2. *Мишустин В.И., Чистяков Ю.А.* "Снижение тепловых потерь в тепловых сетях – одна из важнейших задач в общей проблеме энергосбережения" ФГУП "ВНИИМ им. Д.И. Менделеева", Россия, 2000г.

3. *Цаканян О.С., Голощапов В.Н., Кошель С.В., Ганжа Н.Г.* Определение теплопотерь участков магистральных теплопроводов методом эталона // Проблемы машиностроения. № 1 Т20 2017 г.

4. Методика определения фактических потерь тепловой энергии через тепловую изоляцию трубопроводов водяных тепловых сетей централизованного теплоснабжения. – М.: НЦ ЭНАС 2004. Утверждена МИНЭНЭРГО Российской Федерации в 2004 году.

5. *Байбаков С.А., Тимошкин А.С.* Методики определения и оценки фактических тепловых потерь через изоляцию в водяных тепловых сетях централизованного теплоснабжения без отключения потребителей // Новости теплоснабжения. № 5. 2009 г. – С.38-44.

6. Грищенко Т.Г., Декуша Л.В., Безпрозванный А.А., Самокиш А.И., Воробьев Л.И., Гайдучек А.В., Ненюк А.Т. Контроль теплопотерь на участках теплотрасс // Энергетика и электрификация. № 8. 2000 г. – С.44-48.
7. Владимирский А.А., Владимирский И.А. Аппаратно-программный комплект для многоканальной регистрации температуры // Моделирование та інформаційні технології. Збірник наукових праць. Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України. – Вип. 30, – К.: 2005. – С.30-32.
8. Методика визначення різниці температури на ділянці трубопроводу теплових мереж з використанням високоточної мікропроцесорної вимірювальної техніки. – К.: 2010. Утверждена организацией УКМЕТРТЕСТСТАНДАРТ.
9. Методика определения нормативных значений показателей функционирования водяных тепловых сетей систем коммунального водоснабжения МДК 4-03.2001, утверждена Госстроем России 2001.
10. Регіональна методика розрахунку теплових втрат у мережах гарячого водопостачання м. Києва. Проблемний інститут нетрадиційних енерготехнологій та інжинірингу. Київ, 2007.
11. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. Москва 2001.

<http://doi.org/10.5281/zenodo.3859671>

Поступила 7.10.2019р.

УДК 519.6 : 504.064

О.О. Попов, Київ
А.В. Яцишин, Київ
В.О. Ковач, Київ
В.О. Артемчук, Київ
В.О. Куценко, Київ

МАТЕМАТИЧНІ ПІДХОДИ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ МІСЦЬ РОЗТАШУВАННЯ СТАЦІОНАРНИХ ПОСТІВ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА СТАНОМ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ НА ТЕХНОГЕННО-НАВАНТАЖЕНИХ ТЕРИТОРІЯХ

Abstract. The analysis of the current state and prospects of the existing system of the atmospheric air monitoring development in Ukraine is carried out. The main tasks that the authors are working on in the framework of the grant for young scientists of NAS of Ukraine in 2019 on the topic "Mathematical and software tools for optimization of the network of posts for observation of atmospheric air pollution in the technogenically loaded territories of Ukraine" are outlined. This paper presents the results of solving the first task of the project, namely, a critical analysis of existing approaches to the design of new and optimization of existing networks for monitoring the state of the atmospheric air. The advantages and disadvantages of each approach are described. Prospects for using the project results were noted.