

3. *Олянюк Я.В.* Оптимальный прием сигналов и оценка потенциальной точности космических измерительных комплексов. -М.: Сов. радио, 1973. - 182с.
4. *Пространственно-временная обработка сигналов /И.Я. Кремер, А.И. Кремер, В.М. Петров и др.; Под ред. И.Я. Кремера.* –М.: Радио и связь, 1984. – 224с.
5. *Коростелев А.А.* Пространственно-временная теория радиосистем: Учеб. пособие для ВУЗов. -М.: Радио и связь, 1987. 320с.
6. *Фалькович С.Е.* Оценка параметров сигнала. -М.: Сов. радио, 1970. - 336с.
7. *Фалькович С.Е., Хомяков Э.Н.* Статистическая теория измерительных радиосистем. - М.: Радио и связь, 1981. -288с.
8. *Погорелов А.И., Перехватов С.В.* О возможной структуре зондирующих пространственно-временных сигналов измерительных радиосистем. - В кн.: Измерение параметров формы и спектра радиотехнических сигналов: Тез. докл. II-й Всесоюзной НТК. Харьков: НПО Метрология, 1989, - с.242.
9. *Глушанков Е.И., Погорелов А.И., Трофимов Ю.В.* Математические модели пространственно-временных сигналов и помех. -Киев, 1991, ст. 42-51.
10. *Погорелов А.И., Чумак Б.А., Троицкий Ю.Д.* Энергетические характеристики систем пространственно-временной обработки сигналов. -В кн.: Обработка сигналов в радиотехнических системах.- Харьков: ХАИ, 1990, - с. 12-20.
11. *Рудякова А.Н., Литинский А.Ю., Данилов В.В.* Макет экспериментальной установки для исследования пространственно-временного интегрирования. - Донецк: Технологические процессы и оборудование, ДНУ, 2008, - с. 50-55.
12. *Nakazawa M., Hirooka T.* Distortion-free optical transmission using time-domain optical Fourier transformation and transformlimited optical pulses // J. Opt. Soc. Amer. B, Opt. Phys.. 2005.. Vol. 22, N 9.. P. 1842.1855.

*Поступила 27.09.2010р.*

УДК 681

А.А.Владимирский, И.А.Владимирский

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ВОЗМОЖНОСТИ ЗАМЕНЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ГИЛЬЗАХ ИЗМЕРЕНИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ПОВЕРХНОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ ТЕПЛОСЕТЕЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ**

Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей, нормы и указания по нормированию расхода топлива и тепловой энергии на отопление жилых и общественных сооружений, а также на хозяйственно-бытовые нужды в Украине предусматривают периодическое проведение испытаний тепловых сетей на тепловые потери.

В настоящее время для определения тепловых потерь в России и в Украине разработано и применяется несколько методик. Наиболее

26 © А.А.Владимирский, И.А.Владимирский

объективные результаты обеспечивают методики, основанные на измерении перепада температуры на концах участка трубопровода [1]. Для обеспечения высокой точности измерений термометры либо датчики температуры устанавливаются в специальные металлические гильзы, сваренные в тело трубопровода. Однако на многих участках, подлежащих испытаниям, гильзы отсутствуют. Установка гильз является трудоемкой операцией, включающей выведение теплосети из эксплуатации, опорожнение трубопровода и др. В связи с этим возникает вопрос о возможности проведения высокоточных измерений перепада температуры на концах участков трубопровода с помощью накладных датчиков температуры без использования гильз. С этой целью в ИПМЭ им. Г.Е.Пухова НАН Украины разработан измерительный комплекс (ИК) [2], состоящий из двух 8-канальных регистраторов температуры. При проведении измерений на концах подающего и обратного трубопроводов, по специальной методике устанавливается по 4 датчика температуры (рис.1, рис.2, рис.3). Датчики приспособлены для измерений температуры накладным способом: имеют плоскую чувствительную поверхность с высокой теплопроводностью, малые вес и габариты (не более 10×15×10 мм). В ходе измерений ИК регистрирует температуру одновременно по шестнадцати каналам с разрешением 0,031°С с периодом 1 сек. в течении интервала времени до 3 суток. После истечения заданного интервала времени накопленные в регистраторах данные считываются в ПК для их обработки и представления результатов измерений.

Для проверки точности измерений температуры ИК с накладными датчиками данный комплекс использовался одновременно с эталонным измерителем (ЭИ), датчики которого устанавливались в гильзы. В качестве ЭИ использовался метрологически аттестованный измеритель малых разностей температуры ИМРТ-1, имеющий температурное разрешение 0,005°С, разработанный ИТТФ НАН Украины и КБ “Шторм” НТГУ (КПИ).

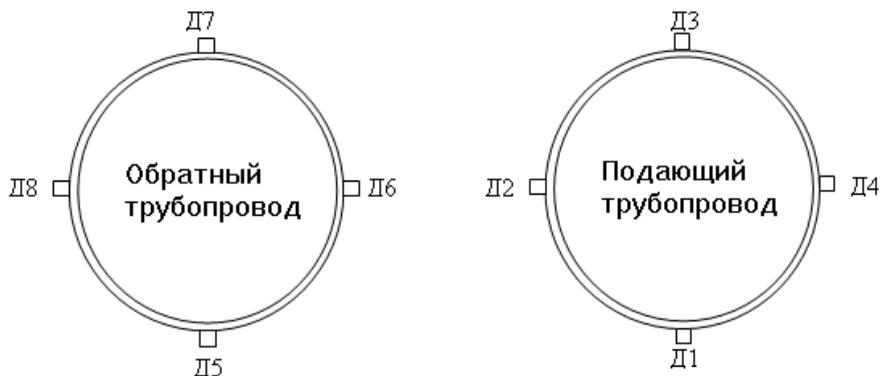


Рис.1.Первая схема установки термодатчиков

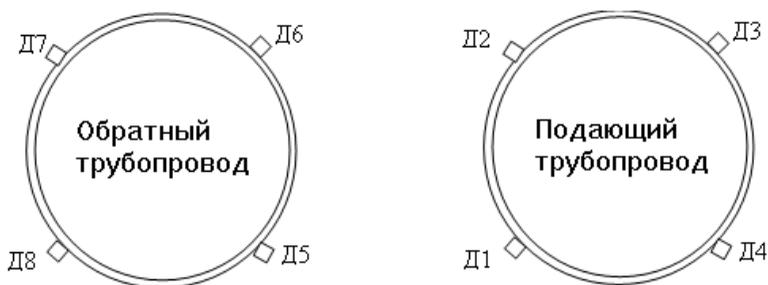


Рис.2. Вторая схема установки термодатчиков

Испытания проводились на одной из тепломагистралей киевской ТЭЦ-5 на участке между двумя теплопунктами - Т1 и Т2.

Датчики ЭИ устанавливались по одному на концах подающего и обратного трубопроводов в Т1 и Т2 в штатных гильзах для термометров, врезанных в трубопровод (всего 4 датчика).

Датчики Д1...Д4 первого регистратора ИК устанавливались на подаче в теплопункте Т1, датчики Д1...Д4 второго регистратора ИК устанавливались на подаче в Т2.

Места установки датчиков тщательно теплоизолировались (рис.4.).

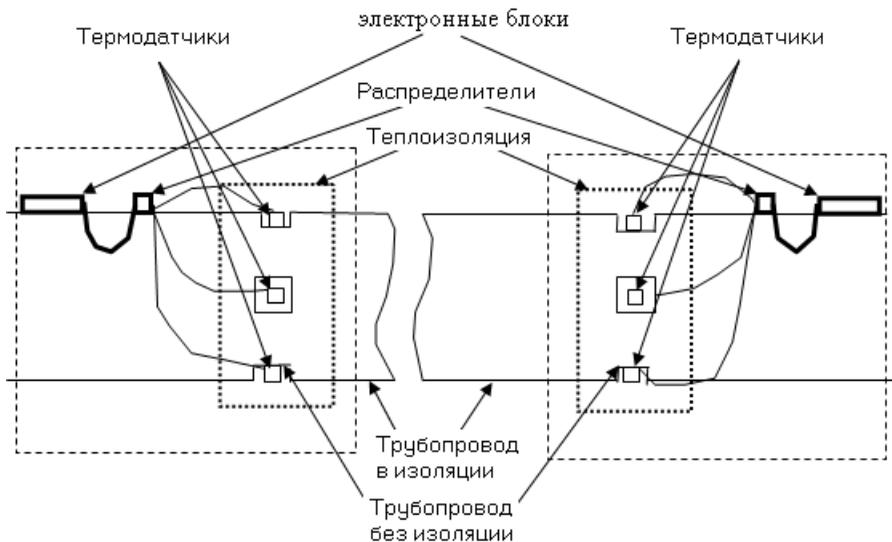


Рис.3. Схема установки двух регистраторов на трубопроводе теплосетей.

После проведения измерений датчики ЭИ и ИК калибровались с помощью калибровочного термостата (КТ). По результатам калибровки в результаты измерений вносились уточняющие поправки и определялись величины измеренных интегральных тепловых потерь на участке Т1 – Т2.

Процедура калибровки датчиков ИК заключалась в следующем.

По данным записей температуры, выполненным с помощью ИК определялся диапазон изменения температуры. Для подающего трубопровода этот диапазон для Т1 и Т2 составил примерно 60...65°C.

В КТ создавалась температура, величина которой находилась в пределах зарегистрированной в Т1 и Т2 величины. Точное значение созданной в рабочей области термостата температуры определялось по эталонному термометру (+63,740 °С). Датчики ИК вводились в гнезда термостата. После стабилизации показаний датчиков ИК, измеренные значения температуры заносились в верхнюю строку табл.1.

Табл.1. Показания датчиков ИК и расчетные значения поправок при температуре внутри термостата 63,740°C.

	Датчики первого регистратора ИК				Датчики второго регистратора ИК			
	Д1	Д2	Д3	Д4	Д1	Д2	Д3	Д4
Показания датчиков, °С	63,56	62,53	63,28	63,28	63,41	63,34	63,44	63,16
Значения поправок, °С	0,18	1,21	0,46	0,46	0,33	0,40	0,30	0,58

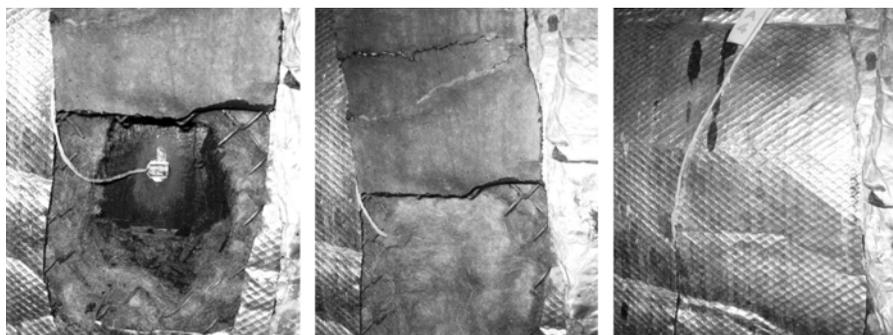


Рис.4. Теплоизоляция датчиков температуры

Значения поправок (нижняя строка табл.1) определялись как разность между показанием эталонного датчика и показаниями датчиков Д1 ... Д4 обоих регистраторов ИК.

Затем в записях температуры, выполненных с помощью ИК в Т1 и в Т2 выделялись соответствующие друг другу по форме участки с температурой, близкой к температуре, созданной внутри термостата. Соответствующие показания датчиков заносились в верхнюю строку табл.2. Калиброванные

значения температуры (нижняя строка табл.2) получены путем прибавления соответствующих поправок из табл.1 (нижняя строка).

Табл.2. Результат введения поправок из табл.1 в температурные данные, зарегистрированные в Т1 и в Т2.

	Датчики первого регистратора ИК				Датчики второго регистратора ИК			
	Д1	Д2	Д3	Д4	Д1	Д2	Д3	Д4
Показания датчиков, °С	63,25	62,84	63,09	63,12	63,22	63,16	63,28	62,97
Показания датчиков, с учетом поправок, °С	63,43	64,05	63,55	63,58	63,55	63,56	63,58	63,55

Разность средних значений температуры по 4 датчикам составляет:  
 $(63,43+64,05+63,55+63,58)/4 - (63,55+63,56+63,58+63,55)/4 = 0,093^{\circ}\text{C}$ .

Данная величина близка к разности температур ( $0,113^{\circ}\text{C}$ ), полученной с помощью ЭИ, датчики которого устанавливались в гильзах в тех же Т1 и Т2.

Следует заметить, что приведенная калибровка датчиков ИК выполнена для очень узкого диапазона температур и использована для внесения поправок лишь в несколько значений температурных данных, зарегистрированных в Т1 и Т2. Это простейший вариант калибровки датчиков ИК. Для производственного применения калибровку следует проводить по нескольким значениям эталонной температуры и во всем диапазоне значений, зарегистрированных датчиками ИК на трубах. В данном случае это диапазон  $60...65^{\circ}\text{C}$  для внесения поправок во все зарегистрированные в теплупунктах Т1 и Т2 данные. Это позволит использовать несколько тысяч имеющихся значений температуры, зарегистрированных ИК в Т1 и в Т2, для определения среднего перепада температуры теплоносителя при его распространении от Т1 до Т2, что значительно повысит устойчивость результатов измерений.

Для калибровки в широком диапазоне температур в настоящее время разрабатывается соответствующее методическое и программное обеспечение.

Выводы.

1. Результаты проведенных измерений перепада температуры на концах участка трубопровода, выполненных одновременно на поверхности трубопровода и во врезанных в него гильзах, различаются на величину, близкую к инструментальной погрешности измерений. Этот результат подтверждается не менее чем десятью проведенными экспериментами, подобными приведенному в статье.
2. Проведением многоканальных измерений температуры по специальной методике с помощью накладных датчиков можно в значительной мере снять необходимость врезки гильз в действующие трубопроводы тепловых сетей, что значительно упрощает выполнение требуемых нормативными документами испытаний теплосетей на тепловые потери.

3. Поскольку разработанный измерительный комплекс способен обеспечить приемлемую для многих случаев точность измерений перепада температуры на концах участков теплотрасс, целесообразно его доведение до производственного использования при определении тепловых потерь тепловых сетей.

1. Т.Г.Грищенко, Л.В.Декуша, А.А.Безprozванный, А.И.Самокиш, Л.И.Воробьев, А.В.Гайдучек, А.Т.Ненюк. Контроль теплопотерь на участках теплотрасс // Энергетика и электрификация. №8. 2000г. -с.44-48.

2. Владимирский А.А., Владимирский И.А. Аппаратно-программный комплект для многоканальной регистрации температуры. Моделирования та інформаційні технології. Збірник наукових праць. Інститут проблем моделювання в енергетиці НАН України. Вип. 30, Київ, 2005р.-с.30-32.

*Поступила 20.10.2010р.*

УДК 681.3:519.711.3:517.958:621.313:669

В.Ф. Евдокимов, А.А. Кучаев, Е.И. Петрушенко, В.А. Кучаев

### **ИНТЕГРАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ТРЕХМЕРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВИХРЕВЫХ ТОКОВ В ЖИДКОЙ ФАЗЕ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ ПРИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПЕРЕМЕШИВАНИИ**

3D integral model of eddy currents and electromagnetic forces in the liquid phase of continuously cast billets with electromagnetic stirring is offered. Take into account the characteristics of the magnetic field of electromagnetic stirrer (EMS): currents low frequency 3...6 Hz in the EMS windings and electromagnetic forces field many times more magnetic fields of eddy currents. As a result we can neglect the magnetic field of eddy currents and assume that at each point of a massive conductor the magnetic field is equal to the magnetic field of EMS. In this case the initial system of integral equations is substantially simplified and its solution reduces to the solution of two subsystems: a vector integral equation for the density of the magnetization current on the surface of the EMS magnetic core and system of integral equations for the density of electric charges on the surfaces of massive conductors; in the resulting distribution of the density of electric charges is determined the electric scalar potential in the molten steel; from distribution of vector magnetic potential, the vector magnetic induction and the electric scalar potential in the liquid phase of billet is calculated the distribution of vectors of eddy currents density and electromagnetic forces.

Key words: integral model, eddy currents, electromagnetic stirrer, steel, billet

В настоящее время остро стоит вопрос о необходимости создания нового и улучшения конструкций существующего электротехнического